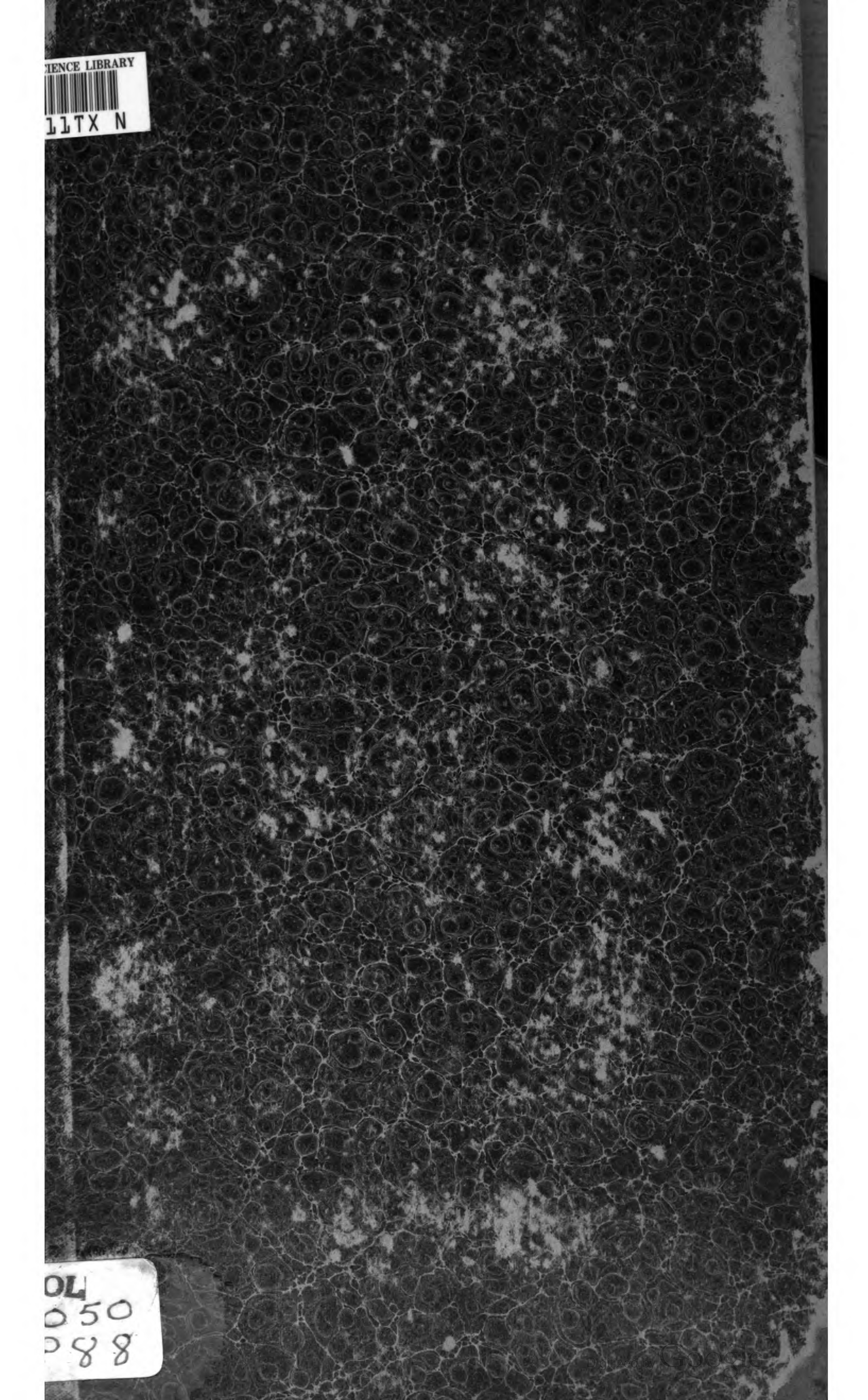

CIENCE LIBRARY
11TX N
OL
050
088

Das Inulin.

Ein Beitrag zur Pflanzenphysiologie.

Von der philosophischen Facultät der Universität München gekrönte Preisschrift.

Von

Karl von
K. Prantl.

Mit einer Tafel in Farbendruck.

München.
Christian Kaiser.
1870.

Seinen Lehrern

den Herren Professoren

Dr. C. Naegeli

und

Dr. L. Radlkofer

in dankbarster Verehrung gewidmet.

Die philosophische Facultät der hiesigen Universität stellte für das Jahr 1868/69 folgende Preisfrage:

„Zusammenstellung der Angaben über das Vorkommen, die Eigenschaften und den physiologischen Werth des Inulins, sowie eine kritische Sichtung und Erweiterung dieser Angaben auf Grund eigener Untersuchungen."

Indem ich nun in folgenden Zeilen die Bearbeitung dieser Frage dem Urtheile eines weiteren Kreises anheimstelle, erfülle ich mit Freuden die angenehme Pflicht, den Herren Professoren Dr. Radlkofer, Dr. Nägeli, Dr. L. A. Buchner, Dr. Erlenmeyer, Dr. Jolly und Dr. C. Voit, welche mich sowohl durch Rath, als durch Untersuchungsmaterial unterstützten, meinen innigsten Dank zu sagen.

München, im April 1870.

Inhaltsübersicht.

Erklärung der Abbildungen.

Die Figuren sind sämmtlich schematisch; die anatomischen und morphologischen Verhältnisse wurden nur soweit als zum Verständniss nöthig schien, berücksichtigt.

Es bedeutet

m Mark; r Rinde; gf Gefässbündel; str Stärkering; e Epidermis; k Kork.

Durch gelbe Farbe wird das Inulin, durch rothe der Zucker, durch blaue das Amylum, durch blaue Punctirung das feinkörnige Amylum repräsentirt. Die Quantität dieser Stoffe ist durch die Intensität der Farbe ausgedrückt.

Fig. 1. Medianer Längsschnitt durch eine austreibende Wurzelknolle von Dahlia; die untersten Niederblätter (s, s) sind durchschnitten, das obere Paar wegen der decussirten Stellung nicht sichtbar. Die ersten Laubblätter sind nur an der Basis durchschnitten; der als Fortsetzung der Gefässbündel in der Wurzelknolle erscheinende schwarze Strich soll hier und in der folgenden Figur nur den Cambiumring vorstellen; tk Terminalknospe, w Wurzeln, wh Wurzelhaube.

Fig. 2. Medianer Längsschnitt durch einen weiter entwickelten Trieb derselben Pflanze. Das unterste Blattpaar ist weggelassen; ebenso ist zwischen dem (in der Figur) ersten und zweiten Blattpaar ein solches unsichtbar; die Epidermis enthält Spaltöffnungen, deren Schliesszellen mit Stärkekörnchen gefüllt sind; f die Ansatzstelle des Endblättchens, f' die der Seitenblättchen des gefiederten Blattes, ak Knospen in den Blattachseln, h Höhlung des Stengels.

Fig. 3—6. Mediane Längsschnitte durch junge Knollen und die Rinde des unterirdischen Stammtheiles von Helianthus tuberosus.

Fig. 7. Horizontaler Längsschnitt einer Wurzel von Petasites niveus (P) mit der Ansatzstelle eines Sprosses von Orobanche flava (O).

Einleitung.

Der Stoff, welchen wir heute Inulin nennen, wurde im Jahre 1804 von Valentin Rose entdeckt; derselbe erhielt aus dem Extracte der Wurzel von Inula Helenium ein weisses Satzmehl, welches er sofort als eine neue „zwischen Amylum und Zucker“ stehende Substanz erkannte. Trommsdorff*) gab 1806 dieser Substanz den Namen Alantine (welches Wort aber nicht, wie Raspail 1838 meint, von Angelica abgeleitet ist, sondern von Alant, dem deutschen Namen der Inula) und Thomson**) den seitdem in Gebrauch gebliebenen: Inulin. In den nächsten Jahren beschäftigten sich die Chemiker damit, diesen neuen Stoff in den verschiedensten Pflanzen aufzusuchen; da man aber versäumt hatte, zuerst die Eigenschaften gründlich kennen zu lernen, so begieng man grobe Irrthümer, indem einerseits viele andere Substanzen für Inulin gehalten wurden, andererseits das Inulin selbst nicht als solches erkannt wurde. Diesem Umstande, sowie der Unzufriedenheit mancher Autoren mit dem bereits fast allgemein angenommenen Namen ist es zuzuschreiben, dass das Inulin noch mit mehreren anderen Namen bedacht

*) Um Wiederholungen in den Citaten zu vermeiden, habe ich die einschlägige Literatur am Schlusse in chronologischer Ordnung zusammengestellt.

**) Da mir Thomson's Werk nur in Wolff's Uebersetzung aus dem Jahre 1811 zu Gebote steht, so kann ich nicht entscheiden, welcher der beiden Namen der ältere ist.

wurde. Diese wirklich synonymen Bezeichnungen sind: Helenin (John 1813)*), Elécampe (Henry, nach einem Citat bei Gaultier 1815), Dahlin (Payen 1823), Synantherin und Sinistrin (Marquart 1834). Hingegen wurden fälschlich für synonym gehalten die Bezeichnungen: Datiscin (der von Braconnot 1816 in der Datisca aufgefundene Stoff, s. §. 18), Menyanthin (nach Waltl 1829 soll Trommsdorff diesen Namen gebraucht haben; in dessen beiden Aufsätzen über Menyanthes finde ich ihn nicht; s. auch §. 18) und Calendulin (wird von Schleiden 1849 als synonym aufgeführt; was aber Geiger 1819 so nennt, ist eine in Weingeist lösliche, „dem Kleber ähnelnde“ Substanz; ein anderes Calendulin ist mir nicht bekannt geworden.)

Erst ziemlich spät begann das gründliche Studium der Eigenschaften des Inulins; während einzelne Gelehrte durch gediegene Untersuchungen die Kenntnisse bedeutend erweiterten (so besonders Payen, Braconnot, Waltl, Dubrunfaut, Sachs), brachten Andere (wie Raspail, Marquart, Mulder, Croockewit) durch unbegründete Hypothesen und ungenaue Untersuchungen bedeutende Verwirrung in den Gegenstand. Von Botanikern war Meyen der erste, der sich mit dem Inulin beschäftigte, und zwar ebenso, wie fast alle späteren, nur mit der Frage, in welcher Form es in der Pflanze enthalten sei; er kam bereits zu der jetzt als richtig anerkannten Ansicht, dass es nur in gelöster Form vorkomme. Welchen Werth das Inulin in physiologischer Beziehung für die Pflanze habe, darüber finden sich ausser den Untersuchungen Sachs' über die zellhautbildenden Stoffe nur wenige Andeutungen.

Es war daher meine Aufgabe, besonders die physiologische Bedeutung des Inulins durch selbstständige Untersuch-

*) In neuerer Zeit hat Gerhard dem in der Inula Helenium enthaltenen Kampher den Namen Helenin gegeben.

ungen kennen zu lernen, während es betreffs des Vorkommens fast nur einer kritischen Sichtung der zahlreichen Angaben bedurfte. Durch die vielfach voneinander abweichenden Resultate älterer Forscher sah ich mich veranlasst, die Eigenschaften des Inulins etwas näher zu betrachten, als es für eine botanische Untersuchung nöthig scheinen dürfte. In dieser Beziehung kann ich nur den Wunsch beifügen, dass dieselben recht bald von einem Chemiker einem gründlichen Studium unterzogen werden mögen.

I. Eigenschaften.

§. 1. Zum Studium der Eigenschaften des Inulins wurde meistens das auf chemischem Wege aus der Pflanze isolirte verwendet. Ich beginne daher diesen Abschnitt mit der Darstellung des Inulins.

Ausser der Wurzel von Inula Helenium dienten dazu noch verschiedene andere der weiter unten zu bezeichnenden inulinführenden Wurzeln und ähnlicher Organe. Am besten eignen sich wohl die sogenannten Knollen von Dahlia variabilis, da sie sowohl überall leicht in grosser Menge zu bekommen sind, als auch eine reiche Ausbeute an Inulin liefern.

Die in der Literatur angegebenen Vorschriften für die Darstellung sind ebenso zahlreich, wie die Schriftsteller; doch sind sie fast alle nur Modificationen dreier Methoden, deren Grundzüge folgende sind: der Saft wird aus den inulinhaltigen Organen entweder durch Auskochen derselben mit Wasser gewonnen (Rose), oder durch Auspressen der Organe auf dem Seihtuche (John, Braconnot), oder durch Auswaschen derselben auf dem Haarsiebe unter einem Was erstrahl (Liebig). Aus dem Saft setzt sich das Inulin ab, je nach stärkerer oder schwächerer Concentration mehr oder weniger rasch. Das so erhaltene unreine Inulin wird dann noch gereinigt entweder durch Abwaschen mit kaltem Wasser oder durch wiederholtes Auflösen in heissem Wasser, woraus es sich beim Erkalten wieder ausscheidet.

Vorzüglich um einen Anhaltspunkt für die Beurtheilung

der Reinheit des von mir verwendeten Inulins zu geben, will ich die Methode der Darstellung anführen, welche ich als die praktischste erkannte. Die Begründung der einzelnen Operationen ergibt sich leicht aus den unten anzugebenden Thatsachen bezüglich des Vorkommens und der Löslichkeit des Inulins, s. §. 15 und 7).

Man zerkleinert die Dahlienknollen durch Zerreiben oder auch durch Zerschneiden, übergiesst sie dann mit etwa dem gleichen Volumen Wasser und erhitzt das Ganze langsam zum Sieden; zweckmässig setzt man etwas kohlensauren Kalk zu, um die nie fehlende freie organische Säure zu binden. Das Auskochen wird mit erneuten Portionen Wasser solange fortgesetzt, bis eine abfiltrirte Probe des Decocts durch Alkohol nicht mehr getrübt wird. Die einzelnen Decocte, welche durch das geronnene Eiweiss und losgerissene Membranen immer getrübt sind, lässt man nun einige Zeit stehen, und wenn sich der grösste Theil dieser Verunreinigungen abgesetzt hat, werden sie vom Bodensatze abgegossen, alle zusammen möglichst rasch filtrirt und das Filtrat eingedampft, bis sich auf seiner Oberfläche eine Haut bildet. In ungefähr 24 Stunden gesteht die Flüssigkeit zu einem dicken bräunlich gefärbten Brei. Verdünnt man denselben mit Wasser, so bleibt das Inulin ungelöst und setzt sich bald als gelblichweisses Pulver aus der gefärbten Flüssigkeit ab; dieser Bodensatz wird auf einem Filter ausgewaschen und dann zur weiteren Reinigung in viel heissem Wasser aufgelöst, mit etwas Thierkohle gekocht, filtrirt und wieder eingedampft. Das nach einiger Zeit daraus ausgeschiedene Inulin wird nun abermals ausgewaschen und zwar so lange, bis es ganz blendend weiss und auch das Waschwasser ganz farblos ist. Um keinen zu grossen Verlust durch das Waschen zu erleiden, kann man dem Wasser etwas Alkohol zusetzen. Zum Trocknen muss das Inulin vom Filter abgenommen und in eine flache Porcellanschale gebracht werden, da es im

trocknen Zustande nicht vom Papier getrennt werden kann. Das Trocknen geschieht Anfangs bei ungefähr 50°, bis das Inulin in ein weisses Pulver verwandelt ist; erst dann steigert man die Temperatur bis 120° und lässt über Schwefelsäure erkalten. Erhitzt man das feuchte Inulin zu rasch, so wird es in eine gummiartige schwer zu pulvernde Masse verwandelt (vgl. §. 3). Wenn das so erhaltene Inulin nicht vollständig weiss ist, oder sich in heissem Wasser nicht ziemlich klar auflöst, so muss es auf die eben angegebene Art wiederholt gereinigt werden. Bei hoher Temperatur der Luft ist es nicht rathsam, das Inulin lange mit Feuchtigkeit in Berührung zu lassen, da es dabei leicht in Zersetzung übergeht.

§. 2. Molecularstructur. Der erste, welcher das Inulin in Bezug auf Form und Structur mikroskopisch untersuchte, war Waltl (1829); derselbe beobachtete, dass das aus der Pflanze dargestellte Inulin aus kleinen Kügelchen estehe, gibt aber über deren Eigenschaften nichts Näheres an; Raspail glaubte zu bemerken, dass eben diese Kügelchen blasenartige Organe seien; diese Bläschen bestünden aus einem in Wasser löslichen Inhalt und einer Hülle (tégument ligneux), welche sich tausendmal weniger in kochendem Wasser ausdehne, als die des Stärkmehls, aber durch die Darstellung mit heissem Wasser sei der Inhalt zum grössten Theile ausgelaufen, und die Klumpen, welche sich dem unbewaffneten Auge zeigen, bestünden aus diesen Tegumenten, welche durch den löslichen Inhalt zusammengeklebt werden. Clamor Marquart scheint den grössten Theil seiner Angaben stillschweigend von Raspail entlehnt (dessen Chimie organique sei ihm „erst nach dem Niederschreiben dieser Bemerkungen zu Gesichte gekommen") und durch schöpferische Phantasie noch weiter ausgeschmückt zu haben. Sein Inulin, welches er mit kaltem Wasser und durch Gefrierenlassen des Dahliensaftes darstellte, bestehe aus kleinen

durchsichtigen Körnchen, welche beim Auflösen in kochendem Wasser zarte Häutchen zurücklassen, „welche ohne Zweifel als Integumente der in der Siedhitze zerplatzten Synantherinkügelchen zu betrachten sind.“ Diese Integumente sollen sich mit Jodlösung blau färben; beim Erkalten der Lösung sollen sich wieder Kügelchen ausscheiden, welche aber keine Integumente mehr hätten, viel kleiner und „wahrscheinlich in Folge einer Gerinnung“ undurchsichtig weiss seien. Durch diese Beobachtungen sieht sich Marquart veranlasst, zwei neue Bezeichnungen einzuführen; den (seiner Meinung nach) unverändert aus der Pflanze erhaltenen, mit Integumenten versehenen Stoff nennt er Synantherin, den in siedendem Wasser löslichen Inhalt der Synantherinkügelchen aber bezeichnet er als Sinistrin.

Hätten Raspail und Marquart nun nicht das künstlich dargestellte Inulin untersucht, sondern die inulinhaltige Pflanze oder auch nur, wie Meyen wenige Jahre später gethan, das frische Decoct derselben, so hätten sie nicht zu solchen abenteuerlichen Hypothesen kommen können. In den Zellen der inulinhaltigen Pflanzentheile nemlich, sowie in deren frischem Auszug ist, wie Meyen ganz richtig beobachtete, nicht die Spur von bläschenartigen Bildungen zu sehen, und das Inulin scheidet sich erst beim Erkalten oder Verdunsten (je nach der Darstellungsweise) des Extractes in Form von Kügelchen aus. Abgesehen nun davon, dass es nach den heutzutage allgemein geltenden Principien unmöglich wäre, die Bildung von bläschenartigen „Organen“ in einem siedendheiss bereiteten und (wie Raspail ausdrücklich anführt) sogar mit Eiweiss geklärten Pflanzenauszug zu erklären, wurden durch die neuesten Untersuchungen mit verbesserten Hilfsmitteln die Beobachtungen Raspail's und Marquart's als unrichtig erkannt.

Späterhin wurden die Kügelchen des Inulins auch noch beobachtet u. A. von Payen (1840), Dubrunfaut (1856)

und Schacht (1863); aber ein Theil der Beobachter wurde irregeführt durch die vermeintliche Verwandtschaft mit dem Amylum; Andere wussten gar nicht, was sie aus diesen „Körnchen“, „globules“, „granules“ machen sollten. Erst nachdem Prof. Nägeli (1862) das Vorkommen von eigenthümlichen kugeligen Gebilden, seinen „Sphärokrystallen“ entdeckte, untersuchte Sachs (1864) das Inulin von diesem neuen Gesichtspunkte aus und wies die physikalische Identität der Inulingebilde mit den Sphärokrystallen nach. — Da nun meine Beobachtungen mit den Angaben Sachs' zum grössten Theile übereinstimmen, so will ich die letzteren nicht im Auszuge mittheilen, sondern nur da anführen, wo sich erhebliche Verschiedenheiten ergaben.

Das Inulin besteht aus meistens mikroskopisch kleinen Kügelchen, deren Grösse jedoch bedeutend variirt und davon abhängt, mit welcher Geschwindigkeit es sich aus der wässerigen Lösung ausscheidet. Aus sehr concentrirten Lösungen (d. h. bei rascher Ausscheidung) erhält man Kügelchen von unmessbar kleinem Durchmesser. In sehr verdünnten Lösungen, woraus es nur durch Verdunstung ausgeschieden werden kann, bilden sich sehr grosse Kugeln, an welchen sich die Structur sehr gut beobachten lässt. (Um die Verdunstung der Lösung noch mehr zu verlangsamen, brachte Sachs dieselbe in ein Reagirrohr und verschloss dessen Oeffnung mit Baumwolle.) Ebenso treten bei rascher Einwirkung von Fällungsmitteln, wie z. B. Alkohol, kleine Kugeln, bei langsamer Fällung dagegen grosse auf; letzteres wird bewerkstelligt, indem man Alkohol vorsichtig auf die Inulinlösung schichtet oder durch Graham'sches Papier davon trennt; legt man inulinhaltige Pflanzentheile in starken Alhohol, so erhält man Kugeln, welche desto grösser sind, je weiter sie von der Oberfläche des Pflanzentheils entfernt sind. Sachs machte bereits die Beobachtung, dass sich manche derselben über viele Zellen erstrecken. Ganz besonders schön ausge-

bildete Kugeln von allen Grössen traf ich in einer in Fäulniss übergehenden Dahlienknolle an.

Verhältnissmässig selten treten diese Kugeln einzeln und nach allen Seiten gleichmässig entwickelt auf; meistens sind sie aneinandergewachsen, und es fehlt dann jeder das entsprechende Segment. Die kleinsten Kügelchen liegen oft so dicht aneinander, dass die Masse amorph und homogen zu sein scheint; erst beim Zerreiben oder bei langsamer Einwirkung von Lösungsmitteln überzeugt man sich von der Zusammensetzung dieser Massen; nicht selten ragen an deren Rande einzelne grössere Kugeln warzenartig hervor, welche sich hie und da zu eichenblattähnlichen Formen vereinigen. — Bei schwacher Vergrösserung erscheinen die Inulinkugeln öltropfenähnlich; bei stärkerer Vergrösserung dagegen nimmt man immer eine radiäre Streifung wahr; doch ist diese selten sehr fein und regelmässig; meist sieht man in abwechselnd grösseren oder kleineren Entfernungen dunkle Streifen in der Richtung des Radius, welche auch nicht immer die ganze Strecke vom Centrum bis zur Peripherie ausfüllen. Am deutlichsten tritt diese Streifung hervor, wenn die Kugeln aus Luft in eine Flüssigkeit gebracht werden; am undeutlichsten ist sie, wenn das Lichtbrechungsvermögen des umgebenden Mediums nicht sehr von dem des Inulins verschieden ist, so z. B. bei Glycerin oder bei gesättigter Inulinlösung. Stellt man das Mikroskop auf die Oberfläche der Kugeln ein, so bemerkt man auf derselben eine siebartige Punctirung; offenbar sind die dunkeln Puncte die Endigungen der dunkeln Streifen; aus Pflanzengeweben, in welchen sich grosse Inulinkugeln befinden, erhält man hie und da tangentiale Schnitte derselben; an diesen sieht man, wie leicht erklärlich, eine ähnliche Punctirung. — Ausser der radiären Streifung finden sich an einigen Kugeln auch Risse, welche mit denjenigen der Amylumkörner sehr viel Aehnlichkeit haben; sie gehen ebenfalls, wie die Streifen, vom Centrum

aus, sind aber viel breiter und finden sich nur in geringer Anzahl. Einige Kugeln scheinen schon von Anfang an solche Risse zu besitzen; bei allen kann man sie aber sehr leicht durch gelindes Drücken hervorrufen. Wird der Druck etwas vermehrt, so zerfallen die Kugeln in ebensoviele Sectoren, als zuerst Risse vorhanden waren. Grössere Sectoren zerfallen weiterhin wieder in kleinere, jedoch nur bis zu einem gewissen Grade; dann zerbrechen sie unregelmässig und es ist daher nicht möglich, die Inulinkugeln in nadelförmige Theile zu zerlegen. Nach Sachs sollen die Kugeln nie in Segmente zerfallen, und es ist wohl möglich, dass die Segmente, welche man öfters wahrnimmt, von zusammengesetzten Gebilden herrühren, welche sich beim Zerdrücken in ihre einzelnen Theile trennten.

An den Inulinkugeln findet sich auch eine concentrische Schichtung; jedoch gelang es mir unter einer sehr grossen Anzahl von Präparaten nur einige Male, dieselbe an unveränderten Stücken wahrzunehmen; auch bei Einwirkung von sehr verdünnter Salpetersäure, wobei sie nach Sachs sehr deutlich auftreten soll, konnte ich sie nur selten finden; hingegen zeigt sie sich sehr schön im ersten Stadium der Einwirkung des Kupferoxydammoniak. Die concentrischen Linien sind fast immer mehr oder weniger wellenförmig gebogen.

In derselben Weise, wie die Inulinkugeln bei ihrer Entstehung sich gegenseitig beeinträchtigen können und so die Bildung von zusammengesetzten Kugeln veranlassen, werden sie auch durch andere in der Lösung befindliche feste Körper in ihrer allseitigen Ausbildung gehemmt. In getrockneten inulinhaltigen Geweben, findet sich das Inulin in unregelmässigen, meist die Form der Zelle nachahmenden Gebilden. Diese wurden zuerst von Berg (1850) bemerkt und seitdem als amorphe Massen bezeichnet. Betrachtet man dieselben genauer, so gewahrt man deutlich die radiäre Streifung, welche meist von einer Ecke ausstrahlt; bei Behandlung mit

Kupferoxydammoniak tritt dann auch die Schichtung hervor und es ist somit kein Zweifel mehr möglich, dass diese Massen nur durch die Zellmembranen beeinträchtigte Kugeln sind.

Das Verhalten des Inulins zum polarisirten Lichte wurde zuerst von Mohl untersucht; die ältere Angabe Schacht's (1852, p. 433), das Inulin sei nicht doppelbrechend, muss hier unberücksichtigt bleiben, da Schacht andere Gebilde für Inulin hielt (s. unten §. 15.) Mohl sagt, dass „die Massen stark auf das polarisirte Licht wirken, was aber Folge von bloss mechanischer Spannung sein kann;" dass aber die aus der kochenden Auflösung niederfallenden Klümpchen nur schwach und unregelmässig wirken. Wie schon Sachs (1864, p. 81) bemerkte, zeigen die Inulinkugeln dieselben Erscheinungen, welche Nägeli an seinen Sphärokrystallen beschreibt. Bei gekreuzten Nicols und Einschaltung eines Gypsplättchens mit Roth I. Ordnung bemerkt man nemlich ein orthogonales neutrales Kreuz und die vier dadurch gebildeten Sectoren abwechselnd mit Blau II. und Gelb I. Dabei fiel mir auf, dass die kleinen Kugeln fast gar nicht auf das polarisirte Licht wirken, und dass die Intensität der Farben mit der Grösse der Kugeln wächst. Es stimmt diess mit der eben erwähnten Angabe Mohl's überein; die andere Angabe desselben Gelehrten über die unregelmässige Wirkung der in den Zellen ausgeschiedenen Massen, findet ihre Erklärung darin, dass diese Massen, wie oben gezeigt, nur Fragmente von Kugeln sind, und demzufolge nicht regelmässig auf das polarisirte Licht wirken können.

Es ist bereits von Sachs constatirt, dass die Kugeln des Inulins ebensowenig wie die von Nägeli in Acetabularia beobachteten Sphärokrystalle imbibitionsfähig oder quellbar sind; hingegen sind sie porös, indem nemlich die radiären Streifen Kanäle darzustellen scheinen, in welche langsam durch Diffusion Flüssigkeit eintreten kann. So werden sie daher auch durch Jod- oder Farbstofflösungen nicht gefärbt, sondern bei

langedauernder Einwirkung dringen dieselben in die Kanäle ein, und an deren Endigungen bleiben dann oft beim Verdunsten der Lösungsmittel die betreffenden Substanzen zurück.

Sämmtliche Lösungserscheinungen erfolgen durch Abschmelzen, keine durch Aushöhlen oder Eindringen. Auch die Angabe Schacht's (1863) dass von Kupferoxydammoniak nur ein Theil gelöst werde und ein Skelet der Kugel zurückbleibe, beruht auf einem Irrthume (s. unten §. 11.).

Vergleicht man nun vorstehende Beschreibung der Inulinkugeln mit der der Sphärokrystalle bei Nägeli, so kann kein Zweifel mehr bestehen, dass beide Gebilde in dieselbe Kategorie gehören und dass also die Inulinkugeln als Sphärokrystalle angesprochen werden müssen. Die Bildung von Sphärokrystallen ist jedoch nicht dem Inulin eigenthümlich, sondern kommt noch verschiedenen anderen Stoffen zu; solche von bedeutender Grösse (bis zu 1 Decimeter Durchmesser und darüber) finden sich bei mehreren Mineralien, z. B. bei Wavellit, Disthen, Tremolit, Prehnit, Limonit, Hämatit; von letzterem sah ich ein Stück, welches eben so schön die concentrische Schichtung, wie die radiäre Streifung zeigte. Sphärokrystalle von mikroskopischer Kleinheit bilden ausser dem Inulin folgende Stoffe: das harnsaure Kali, das Tyrosin und Leucin (die ersteren beiden zeigen Krystallnadeln, welche ziemlich lose zu kugeligen Körpern angeordnet sind, beim Leucin liegen sie dichter, lassen sich aber durch Druck leicht von einander trennen), das basisch-schwefelsaure Kupferoxyd, das Kreatinin-Chlorzink, das Baryt-Inulinat (vgl. unten §. 10. Die Sphärokrystalle dieser Stoffe lassen sich ebensowenig wie die des Inulins in nadelförmige Stücke zerlegen; das Kreatinin-Chlorzink zeigt sehr schöne concentrische Schichtung), das Magnesia-Urat (Robin & Verdeil, traité de chimie anatomique, cit. bei Sachs 1864), der oxalsaure Kalk (De Bary, Morphol. u. Physiol. der Pilze etc. etc. pag. 13 Fig. 4.), und endlich der kohlensaure Kalk (Robin & Verdeil ebenda

und Famintzin 1869); nach den von mir geprüften Angaben des letzteren entstehen beim Zusammenfliessen der Lösungen von Chlorcalcium und kohlensaurem Kali auf dem Objectträger kugelige Gebilde, welche trotz der Behauptungen Famintzin's als Sphärokrystalle anzusprechen sind. — Sicher ist die Anzahl der in Sphärokrystallen vorkommenden Stoffe bedeutend grösser; man hat bis jetzt nur zu wenig darauf geachtet.

In welchem Verhältnisse stehen nun die Sphärokrystalle zu den eigentlichen Krystallen und den organisirten Gebilden? Es ist von vorneherein klar, dass sie nicht als amorphe Zustände der betreffenden Stoffe betrachtet werden können wegen des constanten Vorhandenseins der Kugel- (oder Kugelfragment-) Gestalt und der inneren Structur, sowie wegen der Erscheinungen im polarisirten Lichte, welche auch nach dem Zerbrechen in regelmässige Stücke dieselben bleiben, also nicht von mechanischer Spannung herrühren können. Hingegen vertragen sich alle bekannten Eigenschaften der Sphärokrystalle sehr gut mit der Annahme, dass sie kugelige Anhäufungen nadelförmiger Krystalle sind. Zwischen diesen einzelnen Krystallnadeln, welche radiär um einen gemeinsamen Mittelpunct angeordnet sind, befinden sich Zwischenräume, welche bei verschiedenen Stoffen weiter oder enger sind und daher bei einigen noch die einzelnen Krystalle als solche erkennen lassen (Tyrosin, Leucin), oder aber bei anderen nur als radiäre Streifung auftreten (Inulin). Wo die Krystallnadeln minder dicht gedrängt liegen, lassen sie sich durch Druck isoliren, bei dichterer Lage hingegen nicht; hier werden sie jedoch durch langsam wirkende Lösungsmittel sichtbar gemacht, indem diese die Sphärokrystalle nicht bloss an der kugeligen Oberfläche angreifen, sondern auch in die Zwischenräume eindringen und die einzelnen Nadeln von dieser Seite etwas rascher auflösen als von der Spitze aus; für die Richtigkeit der Annahme einer solchen

Structur müsste die Beobachtung der Entstehung entscheidend sein; allein so sehr ich mich auch bemühte, es konnte mir nie gelingen; hingegen erlauben einige Thatsachen, sich davon eine Vorstellung zu machen. Fügt man nemlich Glycerin zu einem Schnitt aus einem frischen inulinhaltigen Pflanzentheil, so entsteht kein momentaner Niederschlag von Inulinsphärokrystallen, sondern im Inhalte der Zellen treten ölartige Tropfen auf, welche sich lange Zeit nicht verändern; betrachtet man das Präparat nach einigen Stunden wieder, so sieht man an deren Stelle Sphärokrystalle von ungefähr derselben Grösse. Dass die Tropfen noch keine Sphärokrystalle sind, wird dadurch bewiesen, dass sie bei Verdünnung mit Wasser sofort verschwinden, dass sie bei Druck verschiedene Formen annehmen und auf das polarisirte Licht gar keine Wirkung ausüben. Es wäre nicht unmöglich, dass in diesem Falle auch der Primordialschlauch eine Rolle spielt, indem dieser durch Einwirkung des Glycerins sich zusammenzieht und das Glycerin durch ihn hindurch der darin eingeschlossenen ziemlich concentrirten Inulinlösung allmählich durch Exosmose noch mehr Wasser entzieht, so dass das Inulin krystallisiren muss. Doch ist eine solche Umhüllung der Tropfen durch Protoplasma keineswegs nothwendig. Die Entstehung der grossen, viele Zellen umfassenden Sphärokrystalle von Inulin in Pflanzentheilen, welche in starkem Alkohol liegen, dürfte wohl am wahrscheinlichsten dadurch erklärt werden, dass der Alkohol bei seinem Eindringen die in den Zellen befindliche Inulinlösung durch Membranen hindurch vor sich herschiebt (das durch den starken Alkohol sofort getödtete Protoplasma setzt dieser Diffusion kein Hinderniss in den Weg), bis sie zuletzt einen grossen Tropfen darstellt, in dessen Innerem durch Wasserentziehung die Krystallisation stattfindet. Auch in Flüssigkeiten ausserhalb der Pflanze muss wohl die Bildung der Tropfen derjenigen der Sphärokrystalle vorausgehen, wie es beim Baryt-Inulinat

(s. unten §. 10.) wirklich beobachtet wird. — Die Thatsache, dass manche Sphärokrystalle im Centrum eine Höhlung mit hineinragenden Spitzchen besitzen, macht es wahrscheinlich, dass die Krystallnadeln von der Peripherie gegen das Centrum zu anschiessen, und wenn dieses ruckweise geschieht, könnte dadurch die concentrische Schichtung entstehen. — Mit dieser Auffassung der Sphärokrystalle als einer Art von Krystalldrusen stehen auch die Erscheinungen im polarisirten Lichte nicht in Widerspruch; dieselben stimmen nemlich für Leucin und Inulin vollständig überein und für ersteres lässt sich die Zusammensetzung aus Krystallnadeln durch blosses Zerdrücken unzweifelhaft darthun.

Die Annahme, dass die Sphärokrystalle den organisirten Gebilden zuzuzählen seien, wird unmöglich gemacht durch ihr Vorkommen bei Mineralien, ihre Entstehung in gekochten Lösungen, sowie durch den Mangel der Quellbarkeit. Es ist unbegreiflich, wie Famintzin (1869) dieses letzte Kriterium ganz ausser Acht lassen konnte, indem er die Sphärokrystalle von kohlensaurem Kalk, welche er ausdrücklich denen des Inulins gleichstellt, als „amylumartige Gebilde“ beschreibt und daraus neue Beiträge zur Kenntniss der Amylumkörner und der Membranen liefern will.

§. 3. Dem unbewaffneten Auge zeigt sich das aus der Pflanze isolirte Inulin, wie bereits von vielen Chemikern beobachtet wurde, unter zweierlei Formen, entweder als ein undurchsichtig weisses, leicht zerreibliches Pulver vom Ansehen des Stärkemehls, oder als eine hornartige, halbdurchsichtige, in Schollen zerbrechende, sehr schwer zu zerkleinernde Masse. Einen Erklärungsgrund dafür gibt uns sogleich die mikroskopische Beobachtung. Das hornartige Inulin besteht nemlich aus sehr kleinen Körnchen, welche ganz dicht gedrängt aneinander liegen, ohne Luft zwischen sich einzuschliessen. Durch Zusatz von Glycerin oder Alkohol wird nichts daran verändert; Wasser wirkt schwach lösend ein; einzelne Körn-

chen werden gelöst und die übrigen dadurch in ihrem Zusammenhange gelockert, so dass die Masse breiig, und wenn viel Wasser vorhanden ist, milchig wird. — Wenn hingegen das Inulin dem blossen Auge undurchsichtig weiss erscheint, so findet sich zwischen den lockerer liegenden Körnchen viel Luft eingeschlossen; es ist daher den Auflösungsmitteln die Möglichkeit gegeben, zwischen die Körnchen einzudringen und dieselben von allen Seiten anzugreifen. Erhitzt man nun solches pulveriges Inulin mit wenig Wasser sehr rasch, so sammeln sich zunächst die Luftbläschen zu grösseren Blasen; bei der hohen Temperatur vermag das Wasser sehr viel Inulin zu lösen, wegen seiner geringen Menge aber doch nicht alles; aus demselben Grunde tritt auch alsbald wieder ein Verdampfen der eben hergestellten concentrirten Lösung ein und das sich dabei ausscheidende Inulin verbindet und verklebt dann die ungelöst gebliebenen Körner zu einer dichten, fast homogen erscheinenden Masse; einzelne Sprünge darin zeigen die Stellen an, wo die grossen Luftblasen aufgetreten waren. — Auf diese Weise erklären sich die Angaben Braconnot's und Payen's (1824), dass das hornartige Inulin bei raschem Trocknen eines feuchten Inulinniederschlages entstehe, das pulverige aber bei langsamem Trocknen oder wenn vorher Alkohol zugesetzt wurde.

Wie alle fein vertheilten und porösen Körper zieht auch das Inulin Wasser aus der Luft an und nimmt dadurch an Gewicht zu, wie zuerst von Waltl (1828) beobachtet wurde. Diese Gewichtszunahme, welche natürlich zum Wassergehalt der Luft im Verhältniss steht, berechtigt aber nicht zur Annahme verschiedener Hydratzustände des Inulins, wie diess von Dubrunfaut (1856) geschah.

Geruch und Geschmack fehlen dem Inulin vollständig, sowohl in fester, wie in gelöster Form.

Das specifische Gewicht wurde von Payen (1823) zu

1,356, von Dubrunfaut (1856) zu 1,361 und 1,462 (letztere Zahl für wasserfreies) gefunden.

§. 4. Ueber die Diffusionsfähigkeit der wässerigen Inulinlösung existirten noch keine Versuche. Ich stellte zwei solche Versuche mit Graham'schen Papier an und erhielt das Resultat, dass das Inulin diffundirt; einmal gab ich die ungefähr 10procentige heiss bereitete Lösung ober das Pergamentpapier und darunter Wasser; nach 24 Stunden konnte ich in dem vorgelegten Wasser durch Alkohol zwar keine Fällung oder Trübung erhalten; allein beim Verdampfen blieb ein nicht unbedeutender Rückstand von Inulin. Beim zweiten Versuche brachte ich eine andere Portion der nemlichen Lösung unter das Pergamentpapier und darober Alkohol; nach 24 Stunden war der Alkohol deutlich getrübt und in der Lösung hatten sich grosse Sphärokrystalle gebildet. Dass in beiden Fällen nur geringe Quantitäten von Inulin übergiengen, findet wohl seine Erklärung darin, dass das Inulin nur im Verhältniss seiner geringen Löslichkeit in kaltem Wasser diffundiren kann. Bei einem mit Gummilösung und Alkohol in derselben Weise angestellten Versuche wurde der Alkohol viel weniger getrübt. — Weitere Experimente mit lebenden Pflanzenzellmembranen (von Spirogyra) scheiterten an zwei Eigenthümlichkeiten des Inulins: erstens scheidet es sich aus der warm bereiteten Lösung auf dem Objectträger sehr rasch aus, zweitens lässt es sich nur durch das Auftreten der charakteristischen Krystalle beim Verdunsten der Lösung nachweisen (s. §. 16.); da sich nun jedenfalls in der äusseren Flüssigkeit mehr Inulin befindet, so ist nach dem Verdunsten die äussere Fläche der Spirogyra-Fäden dicht mit Sphärokrystallen besetzt, so dass es sich nicht mehr entscheiden lässt, ob zwischen der Membran und dem Primordialschlauch sich auch solche angesetzt haben. Dass die Inulinlösung durch Pflanzenzellmembranen wirklich diffundirt, kann nach dem Auftreten der grossen Sphäro-

krystalle in Alkoholpräparaten (s. oben §. 2.) und nach der Ablagerung des Inulins in den jungen Knollen von Helianthus tuberosus (s. unten §. 27.) keinem Zweifel mehr unterliegen.

§. 5. Schon Biot und Persoz sollen nach Marquart (1834) bemerkt haben, dass die Inulinlösung die Ebene des polarisirten Lichts nach links drehe. Bouchardat soll nach Dubrunfaut (1856) das Rotationsvermögen des Inulins zu — 26,16 gefunden haben. Dubrunfaut beobachtete mit einer 10procentigen Inulinlösung in einem Rohre von 0,5 Meter Länge eine Drehung von 19,2144° nach links, woraus sich das Rotationsvermögen zu — 38,43 berechne. Ich löste 1 Gramm reines Inulin in warmem Wasser auf und verdünnte die Lösung auf 100 Cubikcentimeter; in einem Rohre von 0,26 Meter Länge beobachtete ich eine Drehung von 1° 53′ nach links (Mittel aus sechs Ablesungen*). Stärkere Lösungen

---

*) Nach der häufig angegebenen (und offenbar auch von Dubrunfaut benützten Formel $(\alpha) = \frac{\alpha}{s.\ l.\ d.}$, (worin (α) das Rotationsvermögen, α der abgelesene Winkel, s der Gehalt an Substanz in 1 Cubikcentimeter Lösung, l die Länge des Rohrs in Decimetern und d das specifische Gewicht der Lösung, das ich wegen der starken Verdünnung vernachlässigen kann) erhalte ich daraus $(\alpha) = - 72,42$. Bei Ville und Joulie (1866) findet sich eine andere Formel für eine Länge des Rohrs von 0,2 Meter, nemlich $(\alpha) = \frac{\alpha.\ 0,1216}{s}$. Gehe ich nun von dem Grundsatze aus, dass die beobachtete Ablenkung proportional ist der Länge des Rohrs, so finde ich, dass ich in einem 0,2 Meter langen Rohre eine Ablenkung von 1,44° beobachtet hätte, was nach dieser Formel einem Rotationsvermögen von — 17,51 entspricht. Für die verwandten Stoffe (s. §. 6 u. 9.) erhielte ich dann:

konnte ich wegen ihrer Undurchsichtigkeit nicht anwenden (s. §. 7.).

§. 6. Erhitzt man trockenes Inulin an der Luft, so wird es bei 165° C. dickflüssig und etwas braungefärbt; beim Erkalten erstarrt es zu einer gummiähnlichen Masse. Durch Auflösen in kaltem Wasser, Versetzen mit Alkohol und Filtriren wird diese in zwei Theile getrennt, von denen der eine, in Alkohol unlösliche, sich als unverändertes Inulin erweist, der andere aber, eine gelbe bis bräunliche Flüssigkeit, beim Verdunsten eine spröde, gummiartige, sehr süss schmeckende Substanz hinterlässt. Dieselbe ist in kaltem Wasser, sowie in 90procentigem Alkohol leicht löslich, hat (in wässeriger Lösung) ein Rotationsvermögen von — 35,94*), und reducirt die Fehling'sche Kupferlösung nicht. Sie wurde bereits von Braconnot (1824) und Payen (1840) beobachtet und von Letzterem analysirt, der ihr die Formel $C_{12} H_{10} O_{10}$ gibt und sie somit für isomer mit dem Inulin hält. Entschieden zurückzuweisen ist die Vermuthung Mulder's (1844) dass ihr die Formel $C_{24} H_{21} O_{21}$ zukomme; denn die Art der Darstellung lässt eine Wasseraufnahme als unmöglich erscheinen. Da sie in ihren Eigenschaften bedeutend vom Inulin abweicht, so möge sie mit einem besonderen Namen, als Pyroinulin bezeichnet werden, ein Name, welcher zuerst von Waltl (1829) gebraucht wurde, jedoch irrthümlicher Weise, indem er unsere in Alkohol lösliche Substanz ganz unbeachtet liess und an dem in Alkohol unlöslichen Theil

	nach Dubrunfaut's Formel.	nach Ville' u. Joulie's Formel.
Pyroinulin:	— 146,69	— 35,94
Zucker durch Mineralsäuren:	— 427,3	— 103,86
Zucker durch Essigsäure:	— 160,2	— 38,94

*) In dem 0,26 Meter langen Rohre bewirkte eine 0,91 procentige Lösung eine Drehung um 3° 30'.

andere Eigenschaften zu erkennen glaubte, als sie das unveränderte Inulin besitzt. Es ist noch zu bemerken, dass in der Literatur über das Verhalten des Inulins in der Hitze bedeutende Verwirrung herrscht, welche zum Theil dadurch hervorgerufen wurde, dass Gaultier de Claubry (1815) die Bildung des hornartigen Inulins aus dem feuchten Pulver mit dem Ausdruck „se fondre" bezeichnet. —

Erhitzt man das Inulin (oder das Pyroinulin) noch stärker, so entwickelt sich ein weisser Dampf von stechendem, an verbrennenden Rohrzucker erinnerndem Geruch; bald darauf entzündet sich das Inulin und brennt mit einer (je nach der Quantität der verwendeten Substanz) mehr oder weniger leuchtenden Flamme. Die nach dem Verbrennen zurückbleibende Kohle hinterlässt beim Glühen in den meisten Fällen Spuren von Asche.

Bei der trockenen Destillation erhält man nach Rose „eine braune branstige Säure, aber keine Spur von empyreumatischem Oel," womit alle späteren Angaben übereinstimmen.

§. 7. Löslichkeit in Wasser. Uebergiesst man reines Inulin mit kaltem Wasser, so erhält man eine milchige Flüssigkeit und das vom Inulin abfiltrirte Wasser hinterlässt nur spurweise einen Verdampfungsrückstand; wenn man aber die milchige Flüssigkeit erwärmt, so löst sie sich bei steigender Temperatur immer mehr auf. Da in der Literatur die Angaben über die Löslichkeit sehr abweichen (Waltl gibt an, kaltes Wasser löse gar kein Inulin, Payen dagegen, es löse 2%), so stellte ich darüber einige Versuche an. Zu diesem Zweck digerirte ich ungefähr 80 Cubikcentimeter Wasser bei einer bestimmten Temperatur ungefähr eine Stunde lang mit einem Ueberschuss von Inulin, filtrirte durch einen Wasserbadtrichter, um die Temperatur möglichst constant zu erhalten, nahm aus dem Filtrat 50 Cubikcentimeter mit der Pipette heraus, liess diese verdampfen und wog den getrockneten Rückstand.

Es ergaben sich folgende Resultate:

100 Cubikct.	bei	0° C.	gesätt. Lösung	enthalten	0,01	Grm. Inulin.
„	„	„ 14	„	„	„ 0,02	
„	„	„ 30	„	„	„ 0,27	
„	„	„ 60	„	„	„ 1,57	
„	„	„ 80	„	„	„ 4,00	
„	„	„ 100	„	„	„ 36,50	

Die letzte Zahl macht keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit; indem nemlich die Löslichkeit gerade unter 100° sehr rasch steigt und bei der geringsten Abkühlung eine rasche Ausscheidung von Inulin stattfindet, ist es unmöglich, die siedendheiss gesättigte Lösung zu filtriren. Ich durfte daher in diesem Falle keinen Ueberschuss von Inulin in die Lösung bringen, und nahm sie als gesättigt an, als sie bei der geringsten Abkühlung (nur durch einen Luftzug, der die Flamme bewegte) ein Häutchen bildete. — Eine Erhöhung des Siedpuncts findet nicht statt.

Dass die Lösung des Inulins eine wirkliche Lösung und kein Kleister ist, braucht wohl kaum erwähnt zu werden, nachdem sichergestellt ist, dass das Inulin nicht quellungsfähig ist, und dass es aus der Lösung bald in grösseren, bald in kleineren Sphärokrystallen erhalten werden kann. Uebrigens ist die Lösung nie durchsichtig, sondern immer etwas trübe, doch ohne dass man mit dem Mikroskope feste darin suspendirte Theilchen nachweisen könnte.

Kocht man Inulin mit Wasser, so erhält man sofort mit der Fehling'schen Kupferlösung einen rothen Niederschlag; setzt man jedoch dem Wasser zuvor nur eine Spur Alkali zu oder kocht das Inulin gleich mit der Kupferlösung, so tritt diese Zuckerreaction nicht ein. Croockewit (1843) und Dubrunfaut (1856) geben an, dass bei längerem Kochen die Saccharification eine vollständige sei; diess konnte ich nicht bestätigen; denn als ich eine Inulinlösung eine Woche lang täglich 2—3 Stunden unter Nachgiessen von

Wasser kochte und zuletzt abdampfte, zog Alkohol aus dem Rückstande so wenig aus, dass eine eingehende Untersuchung, insbesondere der optischen Eigenschaften nicht vorgenommen werden konnte. Der in Alkohol unlösliche Theil reducirte die Kupferlösung nicht.

Da das Inulin in kaltem Wasser weniger löslich ist, als in heissem, so muss es sich beim Erkalten der heissbereiteten Lösung ausscheiden. Diese Ausscheidung geschieht aber nicht immer so rasch, als es nach der Theorie sein sollte; heiss gesättigte Lösungen gestehen allerdings sofort nach der Entfernung vom Feuer zu einem dicken Brei; allein je verdünnter die Lösung ist, desto länger bleibt das Inulin gelöst. In einigen Fällen blieb die Lösung mehrere Tage lang unverändert. Vielleicht wird diese Erscheinung, wenigstens theilweise, durch die eben erwähnte Zuckerbildung beim Erwärmen mit Wasser erklärt; wenn man nemlich zu der heissen Lösung etwas von dem Zucker setzt, der durch Kochen mit verdünnten Säuren aus dem Inulin entsteht, so wird die Ausscheidung noch viel länger aufgehalten.

§. 8. Alkohol löst das Inulin nicht auf; die gegentheiligen Angaben einiger Lehrbücher beruhen auf Verwechslung mit dem Datiscin (s. u. §. 18.). In der wässerigen Inulinlösung erzeugt Alkohol eine Fällung von Inulin; sehr verdünnte Lösungen jedoch werden nicht einmal getrübt; ebenso ist der erzeugte Niederschlag in sehr viel Wasser wieder löslich.

Das Inulin ist unlöslich in Aether, Schwefelkohlenstoff, Benzin, ätherischen und fetten Oelen.

Concentrirtes Glycerin löst das Inulin nicht und fällt es aus der wässerigen Lösung; verdünntes Glycerin löst es beim Erwärmen. Ebenso verhält sich Chlorcalciumlösung.

§. 9. Verhalten zu Säuren. Concentrirte

Schwefelsäure macht die Körnchen Anfangs sehr durchsichtig, wie schon Sachs (1864) bemerkt hatte; hernach lösen sie sich auf, indem um sie herum ein gelbliches bis röthliches Gerinnsel entsteht; nach einiger Zeit ist das Inulin in eine braune dickflüssige Masse verwandelt, aus welcher nach Gaultier de Claubry (1815) Ammoniak das Inulin wieder fällen soll; ich sah indess nur Krystalle von schwefelsaurem Ammoniak entstehen. Durch weitere Einwirkung der Schwefelsäure wird das Inulin in eine glänzende Kohle verwandelt, aus welcher sich mittelst Kalilauge eine braune Substanz ausziehen lässt.

Verdünnte Schwefelsäure löst in der Kälte viel Inulin auf; durch Zusatz von Kalilauge erhielt ich keine Fällung von Inulin, wie Marquart angibt, wohl aber einen reichlichen Niederschlag von schwefelsaurem Kali; das Inulin ist vielmehr, wenigstens theilweise, schon in Zucker verwandelt; denn man erhält mit der Fehling'schen Kupferlösung einen reichlichen Niederschlag. Durch Kochen mit verdünnter Säure wird das Inulin vollständig in Zucker verwandelt; es genügt dazu ein ganz geringer Säuregehalt; doch muss man die Vorsicht gebrauchen, die Flüssigkeit durch Nachgiessen von Wasser stets auf dem gleichen Volumen zu erhalten, da die Säure sonst zu concentrirt wird und das Inulin verkohlt. Um den Zucker zu erhalten, muss die Schwefelsäure durch kohlensauren Baryt entfernt werden. Doch wird dadurch der Zucker etwas mit Baryt verunreinigt; ich erhielt nemlich in der vom schwefelsauren Baryt abfiltrirten Flüssigkeit durch Schwefelsäure eine geringe Trübung. Nach Reinigung mit Thierkohle, Abdampfen und Erkalten über Schwefelsäure bleibt eine braune, amorphe, süss schmeckende Masse, welche bei 60° dickflüssig ist. Die Titrirung mit der Fehling'schen Kupferlösung ergab einen Zuckergehalt von 83%. Sie ist leicht löslich in kaltem Wasser, sowie in starkem Alkohol. Das Rotationsvermögen des Zuckers ist

— 103,86 *) (der Gehalt der zu dieser Prüfung verwendeten Lösung wurde durch Titriren bestimmt). Es ist diese Substanz folglich der als „unkrystallisirbarer Zucker, linksdrehender Zucker, Fruchtzucker, Linksglucose, Levulose" bezeichnete Zucker.

Concentrirte Phosphorsäure verkohlt das Inulin; verdünnte löst das Inulin in der Kälte nicht (auch von Sachs 1864 angegeben); beim Kochen verwandelt sie es in den eben beschriebenen Zucker.

Concentrirte Salzsäure soll nach Waltl (1829) das Inulin in fein vertheilte Kohle verwandeln; ich erhielt beim Kochen eine braune Flüssigkeit; verdünnte Salzsäure löst das Inulin langsam auf (Sachs, 1864), wovon man sich am besten durch das Mikroskop überzeugen kann. Durch Kochen entsteht Fruchtzucker.

Salpetersäure löst in der Kälte das Inulin leicht auf; aus der Lösung in starker Salpetersäure lässt sich durch Verdünnung kein explosibler Körper fällen, wie diess beim Amylum der Fall ist (Croockewit 1843). Beim Kochen des Inulins mit Salpetersäure entwickelt sich salpetrige Säure; die gebildeten Produkte sind nach Rose: Aepfel-, Oxal- und Essigsäure, aber keine Spur von „Milchzuckersäure" (d. h. Schleimsäure).

Essig- und Oxalsäure lösen das Inulin in der Kälte nicht, wohl aber beim Erwärmen; durch Kochen wird Zucker gebildet (Payen 1823 und 1840); ich untersuchte das Rotationsvermögen des durch Essigsäure gebildeten Zuckers und fand es zu — 38,94 **); diese Zahl stimmt weder mit der für Fruchtzucker, noch mit der für Invertzucker angegebenen, im Uebrigen unterscheidet er sich nicht von dem

*) In dem 0,26 Meter langen Rohre bewirkte eine 0,72procentige Lösung eine Drehung um 8°.

**) Drehung = 8°; Procentgehalt = 1,92.

oben erwähnten; dargestellt wurde er durch Verdampfen der Essigsäure, Reinigung mit Thierkohle, Abdampfen, Lösen in Alkohol, Verdampfen und Lösung in Wasser.

§. 10. Kalilauge löst das Inulin zu einer klaren Flüssigkeit, wie fast von allen Autoren angegeben wird; welche Veränderung aber dabei mit dem Inulin vorgeht, darüber ist nichts bekannt.

Ammoniakgas soll nach Mulder (1838) von Inulin absorbirt und beim Erhitzen wieder abgegeben werden.

Barytwasser erzeugt, wie schon Gaultier de Claubry (1815) bemerkt hatte, in der Inulinlösung einen reichlichen Niederschlag, der sich leicht in Salpetersäure, schwieriger in Salzsäure löst. Payen (1823) untersuchte denselben eingehender und fand in der Hauptsache Folgendes: Barytwasser erzeugt in der Inulinlösung einen weissen Niederschlag in grossen Flocken, welche sich aber beim Schütteln immer wieder auflösen, bis man einen Ueberschuss von Baryt zugesetzt hat. In einem kleinen Ueberschuss von Salpetersäure, in Essigsäure ist dieser Niederschlag ohne Gasentwicklung löslich, ferner auch in überschüssiger Inulinlösung, sowie in heissem Wasser. Bald setzt er sich fest an die Wände des Glases an, zuerst in undurchsichtigen Massen, welche hernach halbdurchsichtig, weich und fadenziehend werden. Soweit wiederholte ich die Versuche Payen's und kann sie vollständig bestätigen. Payen löste dann den Niederschlag in heissem Wasser auf und dampfte diese Lösung ab, wobei sie sich mit krystallinischen Häuten von schön gelber Farbe bedeckte, welche unlöslich in Alkohol waren aber wieder aufgelöst in warmem Wasser, wieder ebensolche Häute gaben; diese lösten sich in kaltem Wasser auf unter Abscheidung von etwas kohlensaurem Baryt, die abfiltrirte Lösung wurde gefällt durch schwefelsaures, sowie durch kohlensaures Kali oder Natron.

Ich löste den Niederschlag ebenfalls in warmem Wasser

auf, leitete aber dann Kohlensäure ein, wodurch kohlensaurer Baryt ausgefällt wurde; die abfiltrirte Flüssigkeit verhielt sich genau wie eine reine Inulinlösung und setzte nach einiger Zeit reines Inulin ab.

Als ich etwas von dem Niederschlage gleich nach dem Entstehen unter das Mikroskop brachte, zeigte es sich, dass er nicht aus einem festen Körper, sondern aus ölartigen Tropfen bestand. Nachdem ein Theil des Niederschlags mit der ursprünglichen Flüssigkeit vermischt 24 Stunden in einem Uhrglase gestanden war, hatte sich auf der Oberfläche eine Haut von kohlensaurem Baryt gebildet und der gelblichweisse Bodensatz bestand aus Sphärokrystallen, so dass ich auf den Gedanken kam, der Niederschlag sei durch die Kohlensäure der Luft zersetzt worden und das freigewordene Inulin habe sich in Sphärokrystallen ausgeschieden; allein bei genauerer Untersuchung zeigten diese folgende Eigenschaften: sie waren nicht rein weiss, sondern gelblich, besassen eine deutliche concentrische Schichtung, waren meist zu längeren Ketten verbunden und zeigten im polarisirten Lichte bei gekreuzten Nicols und Einschaltung eines Gypsplättchens mit Roth I. nicht die Farben des Inulins, sondern die durch das orthogonale neutrale Kreuz gebildeten Sectoren waren im Centrum gelb, gegen den Rand herrschten rothe, grüne und blaue Töne vor; die grösseren zeigten keine Interferenzfarben, hingegen die kleinsten am schönsten; sie lösten sich in wässeriger Inulinlösung, in Essigsäure, sowie in Schwefelsäure; in letzterem Falle entstand an ihrer Stelle ein feinkörniger Niederschlag (von schwefelsaurem Baryt); beim Erhitzen wurden sie stärker gelb, dann immer dunkler bis zum Schwarzen, wobei sich der nemliche Geruch entwickelte, wie beim Erhitzen des Inulins; allein noch weiter erhitzt wurden sie wieder weiss, ohne ihre Form zu verändern; diese weissen Kugeln lösten sich in concentrirter Salzsäure unter Gasentwicklung auf und an ihre Stelle traten

tafelförmige sechseckige Krystalle von der Form des Chlorbarium. Daraus geht unzweifelhaft hervor, dass diese Sphärokrystalle einer Verbindung von Inulin mit Baryt angehören, über deren sonstige Eigenschaften und Zusammensetzung noch weitere Untersuchungen von Seite der Chemie angestellt werden müssen.

§. 11. Mit Eisenlösungen soll das Inulin nach Funke (1809) einen graulichweissen Niederschlag geben. Diese Angabe wird weder von anderen Autoren noch durch meine eigene Erfahrung bestätigt.

Chlorzinklösung löst das Inulin auf.

Durch Kochen des Inulins mit Bleioxyd erhielt Mulder (1838) eine klare Auflösung, welche beim Verdampfen weisse Flocken absetzte; bei längerem Kochen soll das Inulin zersetzt werden.

Die wässerige Lösung des essigsauren Bleioxyds, sowohl des neutralen als des basischen Salzes erzeugt in der Inulinlösung keinen Niederschlag, wie bereits von Payen (1823), Waltl (1829) und Marquart (1834) bemerkt wurde. Parnell (1846) erhielt mit den genannten Lösungen einen Niederschlag, wenn er zuvor Ammoniak zugesetzt hatte, ebenso Croockewit (1843.) Ich erhielt auf diese Weise ebenfalls einen weissen Niederschlag welcher (nach einigen Stunden untersucht) aus Sphärokrystallen bestand, welche sich in Essigsäure auflösten; die weitere Untersuchung stellte es nicht vollständig sicher, ob sie wirklich aus einer Verbindung von Inulin und Blei bestanden. Nach Croockewit soll dieser Niederschlag auf einem Filtrum gesammelt nach einigen Stunden graue Theilchen beigemengt enthalten, welche sich als metallisches Blei zu erkennen gaben, in der Flüssigkeit habe sich Ameisensäure nachweisen lassen; ich konnte von einer solchen Reduction nichts bemerken, als ich den Niederschlag mehrere Tage lang gegen Staub geschützt stehen liess. Auch Apoglucinsäure will Croockewit in der vom Bleinieder-

schlage abfiltrirten Flüssigkeit nachgewiesen haben; und dennoch benützte er den Niederschlag zur Bestimmung des Atomgewichts des Inulins, worüber vgl. unten §. 14.

Das Millon'sche Reagens löst das Inulin auf, wie zuerst Hartig beobachtete.

Silbersalze werden nach Croockewit (1843) von warmen Inulinlösungen reducirt. Ich kann bestätigen, dass eine salpetersaure Silberoxydlösung mit soviel Ammoniak versetzt, dass der entstandene Niederschlag eben wieder verschwindet, und dann mit Inulinlösung vermischt, in der Wärme nach 24 Stunden einen reichlichen schwarzen Niederschlag absetzte, der aus metallischem Silber bestand.

Kupfersalze sollen sich nach Croockewit ebenso verhalten.

In der Fehling'schen Kupferlösung (ihre Zusammensetzung s. unten §. 21) erzeugt die Inulinlösung beim Kochen nur eine geringe röthliche Trübung; allein diess ist nur ein Zeichen, dass das Inulin beim Kochen mit Wasser in Zucker verwandelt wird; löst man das Inulin sogleich in der Kupferlösung unter Erwärmen auf, so tritt auch nicht die geringste Trübung ein; erwärmt man dagegen die Inulinlösung zuerst mit etwas Säure und prüft dann mit der Kupferlösung, so tritt eine reichliche Fällung von rothem Kupferoxydul ein. Aehnliche Resultate erhielt Sachs (1864) bei Behandlung mit Kupfervitriol und Kali.

Ueber die Einwirkung des Kupferoxydammoniak gibt Cramer (1858) Folgendes an: „Das Inulin wird mit Leichtigkeit aufgelöst. Wenigstens verschwinden die Körner unter dem Mikroskop in kurzer Zeit vollständig beim Zusammentreffen mit dem Reagens. Sie quellen dabei nicht auf, sondern werden unmittelbar gelöst. Die Lösung beginnt indessen nicht an der Oberfläche, sondern im Centrum. Die Körner werden ausgehöhlt. Vor dem völligen Verschwinden zerfallen die äussersten Schichten häufig in einzelne Stücke,

was bei der Kleinheit der Inulinkörner bisweilen zu der irrigen Ansicht führen könnte, als quellen dieselben auf."

Ganz andere Beobachtungen machte Schacht (1863); ihm schienen die Inulinkugeln aus zwei in ihrem chemischen Verhalten nicht absolut gleichen Stoffen zusammengesetzt, indem das Kupferoxydammoniak nur einen Stoff entfernt, den andern aber ungelöst zurücklässt.

In der Vermuthung, die Verschiedenheit dieser Angaben könnte in einer Verschiedenheit des angewendeten Reagens begründet sein, stellte ich das Kupferoxydammoniak auf sieben verschiedene Methoden dar, nemlich durch Auflösen 1) von metallischem Kupfer (unter Luftzutritt), 2) von wasserfreiem (schwarzem) 3) von wasserhaltigem (blauem) kohlensaurem Kupferoxyd, 4) von basisch salpetersaurem, 5) von basisch schwefelsaurem, 6) von schwefelsaurem, 7) von salpetersaurem Kupferoxyd in Ammoniak. Das Resultat war, dass die Sphärokrystalle des Inulins von den beiden letzteren Präparaten gar nicht angegriffen, von sämmtlichen anderen aber in gleicher Weise aufgelöst wurden, und zwar unter folgenden Erscheinungen: Zuerst wird die concentrische Schichtung sehr deutlich, sowie auch die radiäre Streifung stärker hervortritt; hernach erfolgt eine sehr langsame Auflösung und zwar immer von aussen her, selbst bei einzelnen Sectoren widersteht das Centrum der Auflösung länger als die peripherischen Partieen.

In der Regel schmelzen die Krystalle ab, ohne dass ein Rückstand bleibt, manche zerfallen jedoch in ein sehr feinkörniges Gerinnsel, welches aber auf erneuten Zufluss des Reagens ebenfalls aufgelöst wird.

Eine Fällung des Inulins aus dieser Lösung, ähnlich wie bei der Cellulose gelang mir nicht. Ich liess Inulin 24 Stunden lang mit dem Kupferoxydammoniak Nr. 4 in Berührung und filtrirte durch Asbest; auf Zusatz von Wasser sowie von Essigsäure erhielt ich nicht die geringste Trübung; andere

Fällungsmittel lassen sich nicht wohl anwenden; in Mineralsäuren ist das Inulin löslich; Alkohol und Oxalsäure erzeugen schon in der unveränderten Kupferoxydammoniaklösung einen Niederschlag.

§. 12. Bezüglich des Verhaltens des Inulins zu Jod wurden die verkehrtesten Ansichten ausgesprochen, indem man theils Vieles auf Rechnung des Jod setzte, was durch dessen Lösungsmittel hervorgebracht wurde, theils auch nicht immer bedachte, dass das Jod von Natur aus gelb ist.

Gaultier de Claubry (1815) und Gautier (1818) lassen in Inulinlösungen durch alkoholische Jodlösung einen gelbgrünlichen oder gelben Niederschlag entstehen, der aus einer Jodverbindung bestehen soll. Schleiden (1849) und Schacht (1852) wollen eine gelbe Färbung der Inulinkörnchen unter dem Mikroskop beobachtet haben, allein diese hatten gar kein Inulin vor sich (s. unten §. 15). Dass das Inulin von Jod nicht gefärbt werde, wird angegeben von Payen (1823 u. 1840), Waltl (1828), Marquart (1834), Hartig (1858) und Sachs (1864 u. 1868). Nachdem wir jetzt überzeugt sind, dass das Inulin nicht quellungsfähig ist, versteht es sich von selbst, dass von einer Färbung durch Jod keine Rede sein kann.

Hartig's Angabe, dass das Inulin durch Jodglycerin in Körnerform sichtbar werde, beruht darauf, dass das Inulin durch Glycerin gefällt wird, mag nun Jod dabei sein oder nicht. Dass der von Sachs (1863) in den Rindenzellen von Dahlienknollen durch Jodtinctur erhaltene feinkörnige Niederschlag von Inulin gelbbräunlich bis violett erschien, ist wohl nur optische Täuschung.

Bemerkenswerth ist noch, dass nach Angabe Mohl's (1851) ein von Mulder aus Taraxacum dargestelltes Inulin sich mit Jod gelb färbte; nun wissen wir, woher die unrichtigen Angaben Mulder's über das Inulin rühren.

§. 13. Mit Hefe in Berührung soll das Inulin nach

Payen (1823) in alkoholische Gährung übergehen, später trete Essigsäure auf. Dubrunfaut (1856) konnte das Inulin weder in Lösung, noch suspendirt in Gährung bringen, auch nicht nach Ansäuerung mit Weinsäure. Ein von mir angestellter oberflächlicher Versuch hatte das gleiche Resultat. Auch die später von Dubrunfaut (1867) angegebenen Thatsachen, dass bei Gährung und Destillation im Grossen die inulinhaltigen Pflanzentheile im Herbste sehr wenig, im Frühjahr aber sehr viel Weingeist liefern, bestätigen vollkommen, dass das Inulin durch Hefe nicht in Gährung versetzt wird.

Diastase lässt es nach Payen (1840) unverändert.

Speichel übte selbst nach längerer Zeit bei hoher Temperatur gar keine Wirkung auf das Inulin aus.

Hingegen wird es bald zerstört, wenn es bei Sommertemperatur lange mit wenig Wasser in Berührung ist; es entwickelt sich dabei ein widerlicher Geruch nach verschiedenen Fettsäuren.

§. 14. Die erste Elementaranalyse des Inulins wurde von Meyen (1838) ausgeführt, weitere von Mulder (1838), Payen (1840), Parnell (1840), Croockewit (1843) und Dubrunfaut (1856). Die meisten fanden das Verhältniss von Kohlenstoff und Wasserstoff, wie es der Formel $\Theta_6 H_{10} \Theta_5$ entspricht. Die kleinen Differenzen bei Parnell (welcher $C_{24} H_{21} O_{21}$ schreibt) und Croockewit (der für Inulin aus Dahlia $C_{24} H_{21} O_{21}$ und für solches aus Inula $C_{24} H_{20^1/_2} O_{20^1/_2}$ angibt), erklären sich leicht, wenn man bedenkt, dass bei den meisten Analysen der Wasserstoffgehalt zu hoch gefunden wird, und dass es insbesondere bei den Kohlehydraten auf die gehörige Trockenheit der Substanz ankommt. Einige Analysen, welche ich mit der grösstmöglichen Sorgfalt vornahm, ergaben dennoch kein brauchbares Resultat. Ich erhielt als procentische Zusammensetzung:

	I.	II.	III.	berechnet aus $C_{12}H_{20}O_{10}$	berechnet aus $C_{12}H_{22}O_{11}$
Kohlenstoff	43,35	43,06	42,23	44,44	42,11
Wasserstoff	6,64	6,54	6,60	6,17	6,43
Sauerstoff	50,01	50,40	51,17	49,38	51,46

Man sieht, dass der Kohlenstoffgehalt weder für die eine, noch für die andere Formel passt; bei Versuch III, wo er am niedrigsten ist, ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die Substanz nur unvollständig verbrannte; feucht kann das verwendete Inulin nicht gewesen sein, da es so lange bei 100° erhitzt wurde, bis es mehrere Tage lang nicht mehr an Gewicht abnahm; bei der Verbrennung kann auch nicht wohl Kohlenstoff verloren gegangen sein, da ausser dem Kugelapparat noch ein Röhrchen mit Kalistücken angesteckt und zuletzt Sauerstoff durchgeleitet wurde.

Das Moleculargewicht bestimmte Mulder (1838) aus der Bleiverbindung zu 1908 (für O = 100) und aus der Ammoniakverbindung zu 2173.

Parnell erhielt zwei Bleiverbindungen, denen er die Formeln $C_{24}H_{21}O_{21} + 5\ PbO$ und $C_{24}H_{18}O_{18} + 3\ PbO$ gibt; Croockewit erhielt vier andere Verbindungen, die aber nicht einmal gleichen Kohlenstoffgehalt besitzen. Mit Recht macht daher Dubrunfaut (1856) darauf aufmerksam, dass die Verbindungen des Inulins mit Basen und insbesondere mit Blei nicht geeignet sind, das Atomgewicht zu bestimmen.

Jedenfalls steht fest, dass das Inulin zu den Kohlehydraten gehört; wo es aber unter diesen einzureihen ist, darüber sind die Ansichten sehr verschieden, und vollständige Gewissheit lässt sich hierin nicht erreichen, bis einmal der Schleier gelüftet ist, der noch die Constitution der Kohlehydrate verdeckt.

Die älteste Ansicht, die V. Rose's gieng dahin, das Inulin stehe zwischen Amylum und Zucker. Diese Ansicht wird später noch vertreten von Marquart, Schleiden,

und Sachs (1868). Andere erklären es für eine Abart der Stärke, so besonders Gaultier de Claubry (1815), Liebig (1832), Raspail (1838), Meyen (1838), Parnell (1840) und Dubrunfaut (1856). Waltl (1829) glaubt, es müsse in eine eigene Abtheilung gestellt werden; John (1813) und Mulder (1838 und 1844) finden Aehnlichkeiten mit fast allen anderen Kohlehydraten.

Aus meinen Beobachtungen glaube ich folgende Schlüsse ziehen zu dürfen: Mit Amylum und Cellulose (wozu auch das Lichenin gehört), lässt sich das Inulin gar nicht vergleichen, da jene organisirt und gar keine chemischen Individuen, sondern Gemenge sind; über die dieses Gemenge bildenden chemischen Verbindungen wissen wir sehr wenig, doch dürften sie schwerlich krystallisirbar sein wie das Inulin.

Von dem (leider noch zu wenig bekannten) Dextrin unterscheidet sich das Inulin schon durch seine Beständigkeit. Wie man das Inulin als Uebergang vom Amylum zum Zucker bezeichnen kann, ist mir unverständlich; denn erstens ist der Zucker, den wir aus dem Inulin erzeugen können, scharf geschieden von jenem, der aus Amylum durch die Mittelstufe des Dextrins entsteht; zweitens in der Pflanze, wo wir diese beiden Zucker nicht unterscheiden können, sehen wir, wie im Folgenden gezeigt werden soll, niemals Amylum durch Inulin in Zucker, oder Zucker durch Inulin in Amylum übergehen, sondern in allen Fällen Amylum durch Zucker in Inulin, oder Inulin durch Zucker in Amylum. Hingegen scheint mir das Inulin am meisten mit dem Rohrzucker verwandt zu sein, wie sich aus folgender Zusammenstellung ergibt.

	Inulin.	Rohrzucker.
Structur:	krystallisirt	krystallisirt.
Rotation:	— 17,5	+ 76
In Wasser:	löslich zu einer dicken Flüssigkeit (in heissem mehr)	löslich zu einem Syrup (in heissem weniger).
In Alkohol:	unlöslich	löslich.
Erhitzt auf 160°:	schmilzt zu amorphem Pyroinulin	schmilzt zu amorphem Zucker.
Durch Säuren:	verwandelt in Levulose	verwandelt in Levulose und Glycose.
Mit Baryt:	Verbindung	Verbindung.
Fehling'sche Kupferlösung:	wird nicht reducirt	wird nicht reducirt.
Mit Hefe:	nicht gährungsfähig	nicht gährungsfähig.

Es würden sich hienach die Kohlehydrate etwa folgendermassen gruppiren:

I. gährungsfähige Zucker, reduciren die Kupferlösung:
   Glycose, krystallisirt, Rotation + 106°.
   Levulose, unkrystallisirbar, Rotation — 106°.

II. nicht gährungsfähige, krystallisirende Substanzen, reduciren die Kupferlösung nicht:
   Rohrzucker, gibt mit Säuren Glycose und Levulose; Rotation + 76°
   Inulin, gibt mit Säuren Levulose; Rotation — 17,5

III. organisirte Gebilde, welche eine den Kohlehydraten entsprechende empirische Zusammensetzung haben, und ihren Reactionen gemäss in sehr engem Zusammenhange mit ihnen stehen:
   Amylum und Cellulose.

Das Dextrin ist eine Uebergangsform zwischen III und I, ebenso vielleicht die Gummi-Arten.

II. Vorkommen.

§. 15. Art des Vorkommens. Wie bereits oben (§.2) besprochen wurde, hatten Raspail und Marquart behauptet, dass das Inulin in Körnchen von organischer Structur in der Pflanze vorkomme. Auch spätere Forscher konnten sich von dem Vorurtheil über die amylumartige Natur des Inulins nicht frei machen. Schleiden (1849) muss zu der Annahme seine Zuflucht nehmen, dass die Körnchen desswegen nicht sichtbar seien, weil sie Wasser einsaugen und dann die gleiche lichtbrechende Kraft wie das Wasser hätten. Schacht (1851 und 1852) scheint Bestandtheile des Protoplasmas für Inulin zu halten; denn er sagt, es seien „kleine runde, sehr durchsichtige Körner," welche von Jod gelb gefärbt und oft erst nach dessen Anwendung sichtbar werden. Hartig (1857) stellt die grundlose Behauptung auf, das Inulin müsse, „seinen ganzen Entwickelungs- und Formverhältnissen nach, ebenfalls ein hüllhäutiger Körper" sein. Nachdem andererseits Meyen (schon 1838) nachgewiesen hatte, dass die Körnchen sich erst im ausgepressten Safte bilden, wurde die Ansicht, dass das Inulin in der lebenden Zelle nur gelöst vorkomme, vertreten von Berg (1855), v. Mohl (1858), Schacht (1863) und Sachs (1864); letzterer beobachtete auch, dass die unverletzten inulinhaltigen Zellen eine eigenthümliche Lichtbrechung zeigen, fast als ob sie mit gelblichem Oele erfüllt wären.

Der Zellsaft z. B. der reifen Dahlienknollen verhält sich gegen die anwendbaren Reagentien wie wässerige Inulin-

lösung; erwärmt man mit etwas Säure und prüft nachher mit der Fehling'schen Kupferlösung, so erhält man einen reichlichen Niederschlag von Kupferoxydul, der ohne Behandlung mit Säure nicht eintritt. Durch Alkohol, Glycerin oder Chlorcalciumlösung wird Inulin gefällt. Durch das Trocknen der Gewebe entstehen in den Zellen die bereits oben (§. 2) beschriebenen, von Berg (1850) entdeckten Massen; anfänglich glaubte Berg, diese Massen kämen in der lebenden Pflanze vor. Wenn nun auch Oudemans und Wigand (citirt bei Berg 1865) diese Massen nicht als Inulin anerkennen wollen, so ist es doch sehr leicht, sich davon zu überzeugen, dass sie gegen Wasser, Alkohol, Glycerin, Mineral- und Pflanzensäuren, Jod, Alkalien, Kupferoxydammoniak sich genau wie Inulin verhalten.

Es frägt sich nun, wie es kommt, dass in der Pflanze eine ziemlich concentrirte wässerige Inulinlösung bestehen kann, ohne dass eine Ausscheidung eintritt. Dass die Lösung ziemlich concentrirt ist, zeigt die Analyse der reifen Dahlienknollen, in welchen ich 10,7 Procent Inulin und 77,7 Procent Wasser fand, von welchem aber ein Theil offenbar den Membranen und nicht dem Zellsaft angehört. Im günstigsten Falle verhält sich also die Menge des Inulins zu der des Wassers wie 1:7; fertigt man künstlich eine solche Lösung unter Erwärmen an, so tritt bald nach dem Erkalten die Ausscheidung ein, auch wenn man den Versuch in einer Glasröhre macht, welche während des Kochens zugeschmolzen und dann möglichst vor Erschütterung geschützt wird. Es ist daher selbstverständlich, dass in einem Pflanzentheil, worin sich durch Trocknen das Inulin ausgeschieden hat, beim Wiederbefeuchten mit Wasser dieses sich nicht mehr löst. Lässt man einen inulinhaltigen Pflanzentheil gefrieren, so scheidet sich Inulin aus und löst sich beim Aufthauen nicht wieder. Zucker, durch dessen Gegenwart die Ausscheidung aus Lösungen verzögert wird (§. 7.), ist gerade

zu der Jahreszeit, wo der Inulingehalt am grössten ist, gar nicht vorhanden. Es war der Gedanke naheliegend, dass die reichlich vorhandene freie Pflanzensäure die Löslichkeit vermehre; ich isolirte die Säure aus Dahlienknollen durch Bildung des Bleisalzes, und erhielt das Resultat, dass durch Kochen mit einer ganz verdünnten wässerigen Lösung dieser Säure das Inulin sofort in Zucker verwandelt wird; setzt man dagegen die Säure nach der Auflösung des Inulins in siedendem Wasser zu, so tritt hernach die Ausscheidung ein, als ob die Säure gar nicht vorhanden wäre. Es bleibt uns daher nichts übrig als die Annahme (es ist diess aber eigentlich keine Erklärung, sondern nur eine Umschreibung des Thatbestandes), das Inulin komme im Zellsafte gelöst in einer eigenthümlichen Modification vor, welche sich von der gewöhnlichen in nichts weiter unterscheidet, als dass sie auch in kaltem Wasser löslich ist; hat sich das Inulin aus dieser Lösung einmal ausgeschieden, sei es durch Verdunsten oder Gefrieren des Wassers, so stellt es die gewöhnliche Modification dar, und lässt sich durch kein bekanntes Mittel in die leichtlösliche zurückverwandeln.

§. 16. Durch die sichere Kenntniss der Art des Vorkommens sind wir nun in den Stand gesetzt, eine Methode der mikroskopischen Nachweisung ausfindig zu machen. Da ich selbst durch vieles Probiren kein Reagens finden konnte, das mit Inulinlösung eine charakteristische Färbung gäbe, so sind wir genöthigt, das Inulin zur Ausscheidung zu bringen. Diese tritt ein: erstens durch Gefrieren des Pflanzentheils, und es wurde dieses Mittel zur Erkennung bereits von Meyen vorgeschlagen; doch dürften der Anwendung desselben wohl practische Schwierigkeiten im Wege stehen. Ein zweites Mittel zur Ausscheidung ist das Trocknen der Pflanzentheile; dieses lässt sich mit Vortheil bei Wurzeln und ähnlichen Organen, welche wenig Saft enthalten, anwenden. Drittens könnte man zu mikros-

kopischen Präparaten Alkohol oder andere Fällungsmittel zusetzen; diese Methode eignet sich wohl am wenigsten, da der Niederschlag durch Alkohol sehr feinkörnig ist und dann nicht leicht (besonders wenn er nicht sehr reichlich ist) von anderen körnigen Bildungen unterschieden werden kann; Glycerin erzeugt allerdings grössere Sphärokrystalle, allein erst nach einigen Stunden und überhaupt nur in stärkeren Lösungen. Eine vierte Methode besteht darin, dass man nach dem Vorschlage von Sachs (1864) den zu untersuchenden Pflanzentheil in starken (90—95procentigen) Alkohol legt und erst nach mehreren Tagen oder Wochen untersucht; es hat sich dann das Inulin in grossen Sphärokrystallen ausgeschieden. — Mag man nun aber die Sphärokrystalle durch Trocknen oder durch Alkohol erhalten haben, immer ist noch eine nähere chemische Untersuchung derselben nothwendig; die Massen in trockenen Geweben könnten verwechselt werden mit Bruchstücken von Krystallen (z. B. von Helenin in Inula Helenium), mit Stärkekleister, wie er in manchen Sorten der Radix Sassaparillae vorkommt oder mit anderen amorphen Substanzen, (wie z. B. in einigen Zellen der Galläpfel.)

Auch die ausgebildete Form der Sphärokrystalle bürgt nicht dafür, dass man Inulin vor sich habe, da ja auch Sphärokrystalle anderer Substanzen in Pflanzen vorkommen (s. §. 2, 18 u. 23). Das Verhalten zu kaltem und heissem Wasser, Alkohol, Glycerin, Säuren, Alkalien, wo eine Isolirung der fraglichen Gebilde möglich ist, zu Säure und Kupferlösung, sowie beim Erhitzen, führt wohl in allen Fällen zu einem sicheren Resultat.

Eine weitere Vorsicht betrifft den Ort, wo das Inulin sich ausscheidet, indem es in manchen Fällen von Wichtigkeit sein kann, genau die inulinhaltigen Zellen zu kennen. Bekanntlich findet man in Dahlienknollen, welche in Alkohol lagen, häufig grosse Sphärokrystalle, die sich über viele

Zellen erstrecken, zerstreut im Gewebe liegen, während die dazwischenliegenden Partieen leer sind. Hier wird offenbar die Inulinlösung durch den Alkohol in andere Zellen getrieben, als sie ursprünglich einnahm. Oefters fand ich in Wurzeln (besonders bei Cichorium Intybus und Hieracium), welche in Alkohol gelegen waren, die Gefässe, bisweilen auch die zunächst daranstossenden Parenchymzellen, mit Inulin-Sphärokrystallen erfüllt, während die übrigen Parenchymzellen leer waren. Indem ich nun von derselben Wurzel die eine Längshälfte in Alkohol legte, und die andere trocknete, überzeugte ich mich, dass das Inulin sich ursprünglich im Parenchym und nicht in den Gefässen befindet. Es scheint, dass der starke Alkohol zuerst in die lufthaltigen Gefässe eindringt, indem er die Luft absorbirt, und dass dann eine Diffusion zwischen Alkohol und inulinhaltigem Safte der benachbarten Parenchymzellen stattfindet. Wenn es daher darauf ankommt, die Vertheilung des Inulins im Gewebe zu constatiren, ist es nothwendig, ausser den in Alkohol gelegenen auch getrocknete Pflanzentheile zu untersuchen.

§. 17. Mit Hilfe dieser Methode überzeugt man sich leicht, dass das Inulin nur in Parenchymzellen vorkommt, wie diess auch schon von Berg (1865) und Sachs (1865) angegeben wird. Soviel ich beobachten konnte, macht hiebei der Ursprung des Parenchyms keinen Unterschied; es ist gleichgiltig, ob es dem Protenchym oder Epenchym angehört, oder ob es durch Quertheilung von Holzzellen entstand. In alten Zellen mit stark verdickten Wandungen findet sich kein Inulin.

Was die Organe betrifft, welche es enthalten, so hat man es zuerst in Wurzeln aufgefunden, und es war die allgemeine Ansicht aller Chemiker und Botaniker, dass es sich vorzugsweise in Wurzeln finde. Man verstand aber damals unter „Wurzeln“ überhaupt unterirdische Axenorgane, und es muss diese Ansicht nach den neuesten Ergebnissen dahin verbessert werden, dass sich das Inulin in den als Reserve-

stoffbehälter fungirenden unterirdischen Axenorganen findet, mögen dieselben in morphologischer Hinsicht als Wurzeln, oder Rhizome oder Knollen bezeichnet werden. Es scheint, dass diess der ausschliessliche Sitz des Inulins ist; ausser einigen unbestimmten Angaben über das Vorkommen eines „eigenthümlichen Satzmehls“ (das man aber mit demselben Rechte auch für etwas anderes erklären kann,) in den Blättern von Calendula officinalis (bei Geiger, 1818) und von Artemisia Absynthium (bei Braconnot, nach einer Angabe in Rochleder's Phytochemie 1854. p. 187) findet sich noch die Angabe Sachs' (1864), das Inulin finde sich auch im Stamme von Helianthus tuberosus. Da ich bei meinen Untersuchungen an inulinhaltigen Pflanzen in verschiedenen Entwickelungsstadien (s. §. 22 ff.) niemals Inulin im Stamme angetroffen hatte, so legte ich Stammstücke von Helianthus tuberosus von verschiedener Entwicklung und in verschiedenen Jahreszeiten (vom Frühjahre bis zum Spätherbste) in Alkohol, konnte aber niemals eine Spur von Inulin finden. Ich würde es daher doch nicht für unmöglich halten, dass Sachs hier in einen Irrthum gerathen sei, der sich vielleicht theilweise aus dem Vorkommen von Sphärokrystallen eines andern, räthselhaften Körpers (s. §. 23) erklärt.

Die Angabe Hartig's, dass das Inulin dem Stamme und der Wurzel ausdauernder Holzpflanzen zu fehlen scheine, hat bis heute insoferne ihre Berechtigung, als es unter den einheimischen Gewächsen der Inulin enthaltenden Familien (Compositen und Campanulaceen) keine oberirdisch ausdauernden Pflanzen gibt und Wurzeln der ausländischen bis jetzt noch nicht zu Gebote standen.

Die Samen der inulinhaltigen Pflanzen enthalten im reifen Zustande sämmtlich Oel, einige im unreifen Zustande Stärke, aber niemals Inulin.

Die Angabe Schacht's (1852) dass sich in den Pollen-

körnern Körnchen fänden, welche sich mit Jod gelb färben und möglicherweise aus Inulin bestehen, ist dadurch widerlegt, dass dieses überhaupt nicht in Körnchen vorkommt und dass die künstlich gebildeten Körnchen desselben mit Jod nicht gelb werden.

§. 18. Ueber die Verbreitung des Inulins im Pflanzenreiche waren zahlreiche Irrthümer verbreitet, welche zumeist der Mangelhaftigkeit der Methoden zuzuschreiben sind. Man kochte verschiedene, meist officinelle Pflanzen aus, und wenn sich ein weisses Pulver absetzte, das durch Jod nicht blau gefärbt wurde, so wurde es schnell als Inulin erklärt. Durch die oben angegebene mikroskopische Methode sind wir aber in den Stand gesetzt, diesen Stoff viel bequemer und viel sicherer nachzuweisen. Es gelang mir hiedurch, nicht bloss sämmtliche in folgender Uebersicht angeführten älteren Angaben zu bestätigen, sondern auch in einer weiteren Anzahl von Pflanzen (sie sind im Folgenden ohne nähere Bezeichnung der Auffindung geblieben) das Inulin nachzuweisen. Folgende Pflanzen können demnach bis jetzt als inulinhaltig bezeichnet werden:

I. Aus der Familie der Compositen:

1. Cichoriaceen:

Hieracium Nestleri Vill., staticifolium Vill., tridentatum.
Crepis biennis L.
Taraxacum officinale Wigg. (hier entdeckt von Waltl 1828, bestätigt von Wittstein 1840, sonderbarer Weise von Berg 1865 nicht erwähnt).
Lactuca perennis L.
Sonchus arvensis L.
Scorzonera purpurea L., hispanica L. (zuerst von Wigand 1863 erwähnt).
Hypochoeris maculata L., radicata L.

Cichorium Intybus L. (Waltl 1828; Berg 1857 behauptet, die cultivirte Pflanze enthielte kein Inulin; die Pflanzen im Münchener botanischen Garten erwiesen sich sehr reich daran).

Aposeris foetida DC.

2. Cynareen:

Lappa maior Grtn., minor DC. und tomentosa Lm. (die älteste hierauf bezügliche Angabe finde ich bei Endlicher, Enchiridion botanicum 1841. p. 255).

Cirsium rivulare Lk., oleraceum Scp., bulbosum DC., arvense Scp.

Centaurea Jacea L., phrygia L., montana L., axillaris Willd., Scabiosa L., maculosa Lm.

Carlina acaulis L. (Berg 1852).

Calendula officinalis L.

3. Senecionideen:

Senecio nemorensis L.

Artemisia vulgaris L. (Berg 1857).

Achillea Ptarmica L., Millefolium L.

Anacyclus Pyrethrum DC.*) (John 1813, Gautier 1818, Parisel 1833, Koene 1835).

Helianthus tuberosus L.**) (Braconnot 1824, Payen 1824, Boussingault nach Citat bei Ville et Joulie 1866; Mohl's (1851) Angabe, Inulin finde sich in den Knollen von Helianthus annuus, ist offenbar ein Versehen).

---

*) Es wird die Wurzel dieser Pflanze oft als Radix Pyrethri aufgeführt, welche indess auch von Anacyclus officinarum Hayne gewonnen wird. Dieser ist einjährig und enthält kein Inulin.

**) Die sich öfters findende Angabe, diese Pflanze producire auf den Antillen Amylum, bei uns aber Inulin, rührt von einem mangelhaften Citat aus Raspail her; dort steht deutlich dabei, es habe sich später herausgestellt, dass jenes Amylum nicht von Helianthus tuberosus stammte.

4. Asteroideen:

Georgina variabilis Willd. (= Dahlia pinnata et rosea Cav.; in deren verdickten Wurzeln wurde das Inulin zuerst von Payen 1823 gefunden, der es anfänglich für eine neue Substanz „Dahlin" hielt).

Pulicaria dysenterica Grtn.

Inula Helenium L. (Rose 1804, Funke 1809, John 1813, Waltl 1829, Schleiden 1857).

Aster parviflorus Nees, alpinus L.

5. Eupatoriaceen:

Tussilago Farfara L.

Petasites niveus Bmg., spurius Rchb.

Adènostyles alpina Bl. et Fing., albifrons Rchb.

Eupatorium canabinum L. (schon Boudet 1811 hatte in dieser Pflanze ein „stärkmehlartiges Satzmehl" gefunden, welches ohne Zweifel das durch die mikroskopische Untersuchung leicht nachzuweisende Inulin war).

II. Aus der Familie der Campanulaceen:

Campanula rapunculoides L. In der Wurzel einer Blüthenknospen tragenden Pflanze fand ich ziemlich viel Inulin; in anderen Arten der Gattung, sowie von Phyteuma und Jasione suchte ich vergeblich danach.

Durch Untersuchungen an den wirklich Inulin enthaltenden Pflanzen ist es festgestellt, dass deren Wurzeln mit Ausnahme höchstens einer Rindenzellschicht niemals körniges Amylum enthalten; da ich nun in den Wurzeln der Campanulaceen, sowie von Lobelia Dortmanna L. kein Amylum fand, was auch mit den Angaben Nägeli's (Stärkekörner p. 552) übereinstimmt, so wäre es möglich, dass spätere Untersuchungen hier noch die Anwesenheit von Inulin constatiren. — Auch in den Wurzeln der Dipsaceen konnte ich weder Amylum noch Inulin entdecken; allein Nägeli (a. a. O.) fand in einigen Exemplaren von Succisa pra-

tensis Mch. Amylum. — Die Valerianeen enthalten viel Stärkemehl.

Ausserdem finden sich in der Literatur noch folgende Angaben, welche sich meist schon bei näherer Betrachtung selbst widerlegen.

In Acetabularia mediterranea Lamour. fand Prof. Nägeli (1862) eigenthümliche Gebilde, welche er Sphärokrystalle nannte, über deren chemische Natur aber kein sicheres Resultat zu erreichen war; auf die von Sachs (1864) ausgesprochene Vermuthung hin, es könnten dieselben aus Inulin bestehen, erklärt Nägeli später (1867), sie „beständen zweifelsohne aus Inulin." Ich hatte nun Gelegenheit, getrocknete Exemplare zu untersuchen und fand darin zwar keine grossen Sphärokrystalle, wohl aber Anhäufungen von kleineren kugeligen Körpern, wie sie auch von Nägeli unter den grossen beobachtet wurden, und welche möglicherweise identisch sind mit den von Nägeli viel früher (die neueren Algensysteme p. 160 und Taf. III. Fig. 7 und 9) als Stärkekörner beschriebenen Gebilden. Sie färben sich jedoch mit Jod nicht blau (werden auch von Nägeli in den „Stärkekörnern" nicht mehr erwähnt), und lösen sich bei anhaltendem Kochen mit Wasser nicht auf. Wenn diese Gebilde also wirklich mit jenen grossen Sphärokrystallen identisch sind, so können auch diese nicht aus Inulin bestehen.

Aus den Sporen von Elaphomyces granulatus Nees erhielt Biltz (1825) durch Ausziehen mit heissem Wasser ein weisses Pulver, welches von ihm für Inulin erklärt wird, allein sich dadurch unterscheidet, dass es durch Säuren in krystallisirbaren Zucker verwandelt wird, und dass seine Lösung von Barytwasser nicht, hingegen von Silberlösung gefällt wird.

In Borrera ciliaris und Cetraria islandica Ach. soll (nach Angabe Rochleder's) John Inulin gefunden haben, ebenso Berzelius (nach einem Citat bei Gmelin, Handb.

d. Chemie II. 1829. p. 803) in Ramallina fraxinea und fastigiata. Aus Roccella tinctoria Ach. zog Nees v. Esenbeck (1826) einen Stoff aus, den er für Inulin hält, der aber durch Alkohol aus seiner Lösung nicht gefällt und durch Jod blau oder grün oder gelb gefärbt wird. Ausserdem spricht Payen (1840) die Ansicht aus, das Lichenin sei ein Gemenge aus Amylum und Inulin, eine Ansicht, welche nach dem Wenigen, was wir über das Lichenin wissen, als unberechtigt erscheint.

In den Blättern einiger Lebermoose (Alicularia scalaris, Jungermannia anomala) sollen sich nach Schacht (1852) runde oder längliche Körner finden, welche durch Jod schwach gelb gefärbt werden und in ihrem allgemeinen Verhalten dem Inulin entsprechen." Allein 1859 führt er an, dass Holle (1857) nachgewiesen habe, jene Gebilde bestünden aus einer Membran und öligem Inhalte.

In der Wurzel von Iris florentina soll nach Waltl (1829) A. Vogel Inulin gefunden haben; allein in der Abhandlung Vogel's (1815) steht nur, dass er „das weisse Pulver anfänglich für Alantstoff hielt, allein bald sah, dass es bloss Satzmehl war."

Aus der Wurzel von Acorus Calamus erhielt Trommsdorff (1809) vermeintliches Inulin, welches sich aber an der Luft röthlich färbte und bei öfterem Auflösen immer schwerlöslicher wurde.

In der Zwiebel von Colchicum autumnale fanden Pelletier und Caventou (1820) „eine weisse Substanz, welche alle Eigenschaften des Inulins hatte, ausser dass sie mit Jod blau wurde."

In der Radix Sassaparillae soll Pechier Inulin gefunden haben (citirt von Waltl 1829); die mikroskopische Untersuchung dieser Wurzel zeigt sehr viel Amylum, aber keine Spur von Inulin.

Aus den Galläpfeln erhielt Rinck (1809) einen Stoff,

den er für dem Inulin ähnlich hält; die angegebenen Eigenschaften sind zu allgemein, um daraus etwas schliessen zu können, übrigens lässt sich mit dem Mikroskope hier kein Inulin entdecken.

In der frischen Knolle von Helosis brasiliensis Schott (Balanophoreae) wollte Peckolt (1868), 1,2745 Procent Inulin finden. Nach der mikroskopischen Untersuchung Dr. Eichler's (dessen Freundlichkeit ich die Kenntniss dieser Angabe verdanke) enthält diese Pflanze kein Inulin, sondern viel Amylum.

Nachdem in der Wurzel von Cynoglossum officinale L. Cenedilla (1828) Inulin zu finden geglaubt hatte, führt später Schleiden (1857) die Wurzeln und Wurzelstöcke dieser Pflanze, sowie von Anchusa officinalis L. und Symphytum officinale L. als inulinhaltig auf. Bei der mikroskopischen Untersuchung dieser Pflanzen in verschiedenen Entwicklungsstadien fand ich meist ziemlich viel Schleim (worüber s. auch Frank, Pringsh. Jahrb. V. p. 181 ff.) und stellenweise Amylum in sehr kleinen Körnern. An einem Rhizomstück von Symphytum officinale, welches in Alkohol gelegen war, erschienen beim Verdunsten desselben grosse Krystalle, welche sowohl nach ihrer Form, als nach ihrem chemischen Verhalten (soweit die Prüfung an der geringen Menge möglich war) sich als Rohrzucker erwiesen. Von Inulin fand ich niemals eine Spur; die Angabe Schleiden's scheint ihren Grund darin zu haben, dass diese Wurzeln auf dem Querschnitte mit Jod behandelt, dem blossen Auge nicht blau, sondern gelb erscheinen.

Wenn Waltl (1828 u. 1829) sagt, Braconnot habe in den Kartoffeln, „Solanum tuberosum“ Inulin finden wollen, so ist diess wohl ein Irrthum, veranlasst dadurch, dass die Knollen von Helianthus tuberosus öfters als „pommes de terre“ oder „Erdäpfel“ bezeichnet werden.

Aus dem Kraute von Menyanthes trifoliata L. er-

hielt Trommsdorff (1808 u. 1809) ein Satzmehl, welches er für Inulin hält; allein es gibt beim Verbrennen keinen zuckerartigen Geruch, wird von concentrirter Schwefelsäure in der Kälte nicht gelöst, und seine wässerige Lösung gibt mit salpetersaurem Quecksilber einen reichlichen Niederschlag.

Rochleder führt an, Bley habe im Kraute von Calluna vulgaris Salisb. Inulin gefunden; an der betreffenden Stelle (1839) ist aber nur von „Flechtenstärkmehl" die Rede.

Raspail (1838) sagt, in den Früchten von Symphoricarpos leiocarpa finde sich ein weisses Mark, das sich in kleine Partikelchen auflöse, welche sich unter dem Mikroskop als Bläschen mit einem gummiartigen Inhalt erweisen. Im Atlas Taf. VI. Fig. 27 bildet er diese Bläschen ab, als „Inuline de Symphoricarpos;" es sind diess nichts anderes als die Zellen des Fruchtfleisches jener Früchte.

In der Wurzel von Archangelica officinalis Hffm. wollte John (1813) Inulin finden; Andere, wie Buchner konnten nur Amylum finden.

Das Kraut von Lepidium ruderale L. soll nach Glaser etwas Inulin enthalten (citirt von Rochleder).

Im Kraute von Datisca canabina L. fand Braconnot (1816) einen Stoff, der ihm einige Aehnlichkeit mit Inulin zu haben schien. Er unterscheidet sich aber durch seine Löslichkeit in kochendem Alkohol, in Barytwasser, durch unveränderte Lösung in heisser concentrirter Schwefelsäure u. a. Alles dieses führt Braconnot selbst an, um zu beweisen, dass dieser neue Stoff nicht identisch ist mit dem Inulin. Trotzdem wird aber fast von allen Autoren (mit Ausnahme Waltl's 1829) die Datisca unter den inulinhaltigen Pflanzen aufgeführt, bis Stenhouse (1856) das Datiscin als ein Glucosid erkannte.

In der Wurzel von Althaea officinalis L. beobachtete Linck (1815) Körner, welche sich zum Theil in kaltem

Wasser zu einer schleimigen Flüssigkeit auflösten; ein Theil davon wurde erst von heissem Wasser gelöst. Diesen letzteren Bestandtheil glaubt nun Pfaff (1821) für Inulin halten zu müssen. Später untersuchte L. Meier (1826) die Eibischwurzel und isolirte daraus ein Pulver, welches wohl die allgemeinsten Eigenschaften des Inulins zeigt (mit Jod soll es aber „eine grünliche Zusammensetzung machen"). Die mikroskopische Untersuchung zeigt sehr viel Amylum, aber keine Spur von Inulin.

In der Wurzel von Polygala Senega L. fand Pechier (1821) einen Stoff, welchen er als „Inulin, in einem Farbeprincip eingewickelt" erkennen wollte. Dass derselbe kein Inulin ist, ergibt sich daraus, dass er sich sowohl in dem durch Bleilösung im Safte erzeugten Niederschlage, als auch im alkoholischen Extract des holzigen Rückstandes fand.

„Eucalyptus dumosa Cungh. schwitzt in seiner Jugend an der Oberfläche der Blätter sogenanntes Lerp aus, das aus etwas Harz, Stärke, Gummi, Inulin, Zucker und Cellulose besteht: Anderson." Rochleder p. 69. Näheres darüber kann ich nicht finden.

Punica Granatum L. soll in der Wurzelrinde nach Cenedella Inulin und unkrystallisirbaren Zucker enthalten (nach Angabe Rochleder's); andere Analysen geben Stärke, krystallisirbaren Zucker, Mannit etc. etc. an. Bei der mikroskopischen Untersuchung bemerkte ich ausser einer grossen Menge von Stärkekörnern zwar Sphärokrystalle in einzelnen Zellen, allein dieselben lösten sich weder in heissem Wasser, noch in Kalilauge, bestehen also keinenfalls aus Inulin.

Man sieht hieraus, dass man das Inulin fast in allen Familien des Pflanzenreichs finden wollte; allein es wurden manche andere Stoffe, Lichenin, Amylum, vielleicht Pectinstoffe, ja selbst ganze Zellen damit verwechselt.

§. 19. Die Quantität des Inulins in den einzelnen

Wurzeln wurde von verschiedenen Chemikern verschieden gefunden. In Taraxacum fand Waltl ungefähr 5—6 Procent, Wittstein 5 Procent, aus Cichorium erhielt Waltl 12 Procent. Die trockene Radix Pyrethri enthält nach John 40, nach Gautier 33, nach Parisel 25, nach Koene 57,7 Procent Inulin. In den frischen Knollen von Helianthus fanden sowohl Braconnot, als Boussingault 3 Procent Inulin. Die frischen Wurzeln von Dahlia enthalten davon nach Payen 10, nach Wittstein 5, nach meiner eigenen Bestimmung 10,7 Procent. Aus der trocknen Wurzel von Inula erhielt John 36½, und Waltl 11 Procent Inulin. Diese Verschiedenheit der Angaben rührt einerseits von der Unmöglichkeit her, die Menge des Inulins genau zu bestimmen, da hiefür kein anderes Mittel zu Gebote steht, als das in Arbeit genommene Material der Darstellung zu wägen und hernach das erhaltene Inulin wieder zu wägen; wie unsicher diese Methode ist, ergibt sich aus der Betrachtung der Darstellungsweise (§. 1); vgl. auch Wittstein (1868) p. 131 f.

§. 20. Ein anderer Grund ist aber die wirkliche Verschiedenheit im Inulingehalte der Pflanzen zu verschiedenen Jahreszeiten. Nachdem ein solches Verhältniss von Waltl (1829) und Liebig (1832) geahnt worden war, fanden Widnmann (1832), Overbeck (1840) und Frickhinger (1841), dass die im Herbst gesammelte Wurzel von Taraxacum viel mehr Inulin und weniger Zucker enthalte, als die im Frühjahre gesammelte. Aber nicht bei allen Pflanzen ist das Verhältniss so einfach, dass der Inulingehalt sein Maximum im Herbste erreicht; es sind hier bedeutende Verschiedenheiten je nach der Lebensweise der einzelnen Pflanzen. Bei einjährigen Pflanzen fehlt das Inulin vollständig*); ich be-

*) Ich untersuchte folgende einjährige Compositen, ohne Inulin zu finden: Crepis virens Vill., Sonchus oleraceus L., Lactuca mu-

obachtete nur an einem einzigen Exemplar von Calendula officinalis gegen Ende der Blüthezeit Inulin und zwar nur in einer Zellschicht der Wurzelrinde; zahlreiche andere Exemplare zur selben Zeit sowohl, wie vor der Blüthezeit untersucht, enthielten kein Inulin; es ist daher höchst wahrscheinlich, dass jenes Exemplar ausdauerte, wie es ja öfters bei einjährigen Pflanzen beobachtet wird. Bei zweijährigen Pflanzen nimmt der Inulingehalt bis zum Schlusse des ersten Jahres zu, im zweiten Jahre wieder ab, bis während der Blüthezeit das Inulin vollständig verschwunden ist. (Diese Beobachtungen wurden vorzugsweise an Arten von Lappa gemacht). Unter den mehrjährigen inulinführenden Pflanzen sind jedenfalls zwei Typen zu unterscheiden. Bei den einen, welche jedes Jahr Blüthen produciren, wird das Inulin jedes Jahr wenigstens theilweise verbraucht und wieder neu gebildet; bei solchen findet man daher fast das ganze Jahr hindurch Inulin und zwar im Herbste die grösste Menge; dahin gehören z. B. Taraxacum, Aposeris, Helianthus, Dahlia, Inula, Tussilago, Petasites, u. s. f. Andere dagegen scheinen sich durch die Produktion von Früchten so zu erschöpfen, dass dasselbe Individuum erst wieder nach einigen Jahren blühen kann; dahin scheint Cichorium Intybus L. (vielleicht Aster alpinus, und wahrscheinlich ein nicht geringer Theil derjenigen Compositen*), bei denen ich kein Inulin finden

---

ralis L., Hypochoeris glabra L., Podospermum laciniatum DC., Arnoseris pusilla Grtn., Senecio vulgaris L., Chrysanthemum segetum L., inodorum L., Matricaria Chamomilla L., Anthemis arvensis L., Gnaphalium luteoalbum L., Filago germanica L., arvensis L., minima Fries, Evax pygmaea Pers., Erigeron canadensis L.

*) Diejenigen mehrjährigen Compositen, bei welchen es mir nicht gelang, Inulin nachzuweisen, sind folgende: Crepis alpestris Tausch., aurea Cass., Scorzonera humilis L., Leontodon incanus Schrank, hastilis L., pyrenaicus Gouan, autumnalis L., Serra-

konnte) zu gehören. Bei Cichorium fand ich nemlich die Wurzeln der rein vegetativen Exemplare sehr reich an Inulin, während ich in Wurzeln von blühenden nicht eine Spur entdecken konnte. Es scheinen aber noch complicirtere Verhältnisse vorzukommen, indem sich unter den in voriger Anmerkung aufgeführten Pflanzen manche finden, bei welchen ich mit der letzteren Annahme das Fehlen des Inulins nicht erklären könnte. Dass es hier nicht vollständig fehlt, geht wohl daraus hervor, dass sich kein anderer Stoff vorfand, der es hätte ersetzen können, sowie, dass oft die nächsten Verwandten Inulin enthalten.

---

tula tinctoria L., Cirsium spinosissimum Scop., Carduus defloratus L., Centaurea austriaca Willd., Saussurea pygmaea Sprg., Senecio incanus L., cordatus Koch, lyratifolius Rchb., aquaticus Huds., Jacobaea L., erucifolius L., abrotanifolius L., Arnica montana L., Chrysanthemum alpinum L., montanum L., coronopifolium Vill., Achillea tomentosa L., atrata L., moschata Wlf., Clavenae L., Gnaphalium dioicum L., supinum L., silvaticum L., Buphthalmum salicifolium L., Bellidiastrum Michelii Cass., Homogyne alpina Cass.

III. Physiologische Bedeutung.

§. 21. Nachdem ich schon im letzten Paragraphen auf dieses Gebiet gekommen war und dort stillschweigend vorausgesetzt hatte, das Inulin sei ein Reservenahrungsstoff, muss ich nun noch über die Untersuchungen berichten, welche zu dieser Annahme geführt haben. Vorerst mögen noch einige Worte über die dabei angewandte Methode gestattet sein.

Wenn es auch Manche versucht haben, die Metamorphosen des Inulins durch makrochemische Untersuchung der aus verschiedenen Pflanzentheilen in verschiedenen Entwicklungsstadien ausgepressten oder ausgekochten Säfte zu eruiren, so glaube ich doch, dass eine genaue Kenntniss derselben nur durch mikrochemische Untersuchungen möglich ist. Ich untersuchte daher Quer- und Längsschnitte aus allen Theilen der betreffenden Pflanzen unter dem Mikroskope auf ihren Gehalt an Inulin, Amylum, Zucker, und in einzelnen Fällen auch auf Eiweissstoffe und Oel. Die dazu angewandten Reactionen sind folgende:

Das Inulin wurde nach der oben (§. 16.) beschriebenen Methode mit der am Schlusse jenes Paragraphen angegebenen Vorsicht nachgewiesen, indem der Pflanzentheil meist der Länge nach halbirt, und die eine Hälfte in Alkohol gelegt, die andere aber getrocknet wurde.

Die Amylumkörner färben sich bekanntlich mit Jodlösungen blau; ich wandte dazu immer Jodkaliumjodlösung an; in ganz jungen Geweben bedarf es nach Sachs (1863,

p. 186) eines umständlicheren Verfahrens; man muss nemlich den Schnitt mit Kalilauge erwärmen, auswaschen und mit Essigsäure neutralisiren, worauf dann eine schwache Jodlösung kleine violettgefärbte Körnchen zum Vorschein bringt. Ob diese Substanz nun wirklich Amylum ist, bleibt ferneren Untersuchungen vorbehalten; im Folgenden werde ich sie der Kürze halber als „feinkörniges Amylum“ unterscheiden. — In den Chlorophyllkörnern wurde das Amylum (nach Sachs ebenda) durch Extraction in Alkohol und Anwendung des ebengenannten Verfahrens mit Kali nachgewiesen, wobei sich das Amylum mit Jod blau färbt.

Von Zuckerarten kommt Rohrzucker hier nicht in Betracht; wenn derselbe auch von Dubrunfaut (1867) in den Knollen von Helianthus nachgewiesen wurde, ist dessen Menge doch so gering, dass er sich mit dem von Sachs (über einige mikrosk.-chem. Reactions-Methoden. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 1859) angegebenen Verfahren nicht erkennen lässt. — Zur Nachweisung der Glycosearten hatte Sachs (ebenda) vorgeschlagen, den Schnitt mit Kupfervitriollösung und dann mit heissem Kali zu behandeln, wodurch bei Gegenwart von Glycose ein rother Niederschlag erzeugt wird. Abgesehen davon, dass dieses Verfahren sehr umständlich ist, möchte ich auch seine Genauigkeit etwas bezweifeln; wenn der Schnitt nemlich nach dem Eintauchen in Kupfervitriollösung nicht sehr gut ausgewaschen wird, entsteht durch heisses Kali ein schwarzer Niederschlag von Kupferoxyd, dessen Körnchen von denen des rothen Kupferoxyduls unter dem Mikroskop nicht unterschieden werden können, andrerseits bringt ein zu lange dauerndes Auswaschen die Gefahr einer Diffusion des zuckerhaltigen Zellsaftes in das Waschwasser mit sich; ausserdem ist bei dem wiederholten Eintauchen ein Druck mit der Pincette unvermeidlich, wodurch die Sicherheit des Resultats abermals gestört wird. Ich habe daher diese Methode dahin modifizirt, dass ich die von den Chemikern zur quantitativen

Zuckerbestimmung benützte Fehling'sche Kupferlösung*) verwendete. Der Schnitt wird auf den Objectträger gelegt und hier mit destillirtem Wasser ausgewaschen, um den Saft der durchschnittenen Zellen zu entfernen. Nach Zusatz eines Tropfens der Kupferlösung wird das Deckglas aufgelegt und ober der Weingeistlampe langsam erwärmt; man gebrauche aber dabei die Vorsicht, die Flüssigkeit nicht ins Kochen kommen zu lassen, indem sonst der Niederschlag über das ganze Präparat verbreitet wird. Bei Gegenwart von Zucker entsteht der rothe Niederschlag schon ehe die Flüssigkeit ins Kochen geräth; man sieht dann die Körnchen in den Zellen liegen, in welchen sich der Zucker befand. Ist kein Zucker vorhanden, so tritt selbst bei längerem Kochen kein rother Niederschlag auf und das Präparat bleibt ganz unverändert. Welcher Zucker nun das sei, ob rechts- oder links drehender, lässt sich mikrochemisch nicht entscheiden. Sachs glaubt nun, durch die erwähnte Kupferreduction auch Dextrin nachweisen zu können; da dasselbe nemlich in Alkohol unlöslich ist, so müsse die Reduction in einem Pflanzentheil, welcher 24—36 Stunden in starkem Alkohol gelegen ist, von Dextrin herrühren. Dagegen lässt sich aber geltend machen, erstens dass es sehr zweifelhaft ist, ob das Dextrin die eben besprochene Reduction hervorbringt (man findet darüber die verschiedensten Angaben), zweitens, dass, ange-

*) Sie wird nach Fresenius (quant. Anal. 5. Aufl. p. 831) folgendermassen bereitet: 34,639 Gramm Kupfervitriol werden in 200 Cub. Cent. Wasser gelöst; ferner werden 173 Gramm weinsaures Natron-Kali (Tartarus natronatus der Apotheken) in 480 C. C. Natronlauge von 1,14 spec. Gew. gelöst, die beiden Lösungen zusammengegossen und auf 1 Litre verdünnt. Natürlich braucht für qualitative Versuche die Zusammensetzung nicht so genau zu sein. Sollte die Lösung bei längerem Aufbewahren sich zersetzen, und schon beim Erwärmen für sich einen rothen Niederschlag geben, so setzt man Kali- (oder Natron-)lauge zu.

nommen das Dextrin reducire die Kupferlösung, diese Reduction wegen der vollständigen Unlöslichkeit des Dextrins in Alkohol auch noch nach wochenlangem Liegen in Alkohol eintreten müsste; diess trifft aber in den von Sachs bezeichneten und auch von mir beobachteten Fällen nicht zu; und das Eintreten der Reduction nach 24 Stunden findet darin seine Erklärung, dass der Alkohol sich mit einer concentrirten Glycoselösung nur langsam mischt und daher auch die Diffusion durch die Pflanzenzellmembranen nur langsam erfolgt.

Die Eiweissstoffe werden durch die nemliche Kupferlösung nachgewiesen, indem durch dieselbe eine violette Färbung in den eiweissreichen Partieen hervorgerufen wird*).

Ausser der Beschreibung im Texte habe ich auch versucht, die Vertheilung der mit dem Inulin in naher Beziehung stehenden Stoffe in einigen Pflanzen durch schematische Zeichnungen anschaulich zu machen; ich muss jedoch ausdrücklich bemerken, dass diese Zeichnungen nur schematisch sind und keineswegs die anatomischen und morphologischen Verhältnisse richtig darstellen sollen (vergl. auch die Erklärung der Tafeln.)

---

*) Es lassen sich alle diese Reactionen an einem und demselben Pflanzenindividuum so ausführen, dass man ein vollständiges Bild der Vertheilung eben genannter Stoffe erhält. Man macht nemlich in besimmten Abständen, welche natürlich je nach den Umständen verschieden sein müssen, Querschnitte und zwar je zwei unmittelbar aufeinanderfolgende; der eine der beiden Schnitte wird mit der Kupferlösung behandelt, der andere mit Jodlösung, hernach mit Kali und Jod; die durch die Querschnitte getrennten Stücke werden dann der Länge nach halbirt, von jeder der beiden Schnittflächen in der ganzen Längenausdehnung Längsschnitte genommen und die der einen auf Amylum, die der andern auf Zucker geprüft. Endlich wird die eine Längshälfte in Alkohol gelegt und die andere getrocknet.

§. 22. Die Verwendung des Inulins beim Austreiben der Dahlienknollen war schon von Sachs (1863) untersucht worden; er gibt in der Hauptsache Folgendes an: Die keimenden Knollen enthielten sehr viel Dextrin, ebenso die jungen Stengel; die Zellen der Stärkeschicht waren mit Stärkekörnern erfüllt, die Blätter dagegen hatten noch nicht zu assimiliren angefangen (die Knollen hatten im Keller getrieben) und enthielten kein Amylum in den Chlorophyllkörnern. Dagegen fand sich solches in den Siebröhren. — Meine Untersuchungen ergaben folgende Resultate:

1. Im Herbste enthielten die Dahlienknollen 10,7 Procent Inulin auf 77,7 Procent Wasser; Zucker war nicht einmal in Spuren vorhanden. Amylum fand sich im Parenchym nirgends, wohl aber in den Siebröhren. Knollen, welche einige Monate im Zimmer gelegen waren, enthielten geringe Mengen von Zucker.

2. Eine Knolle hatte im Treibhause einen etwa 3 Centimeter langen Spross getrieben (Fig. 1); derselbe war ganz weiss, trug an der Basis zwei Paare weisse, schuppenförmige Niederblätter und am Ende eine Knospe, deren zwei untersten Blätter eben anfingen sich auseinanderzulegen und an der Spitze schon ergrünt waren.

Inulin fand sich in den unteren Theilen der Knolle noch unverändert, am oberen Ende derselben nahm es ab und hörte unter der Insertion des ersten Niederblattpaares auf.

Zucker befindet sich in den unteren Theilen der Knolle nur an der Ursprungsstelle der Wurzeln, in den oberen Partieen nimmt er in demselben Verhältniss zu, als das Inulin abnimmt und erreicht sein Maximum an der Basis des Stammes. Von da nimmt er nach aufwärts zu wieder ab, um unter der Knospe ganz zu verschwinden.

Stärkekörner sind enthalten im sog. Stärkering, d. h.

jener Schichte von Parenchymzellen, welche unmittelbar an der Aussenseite der Gefässbündel liegt, jedoch nur im Stamme von dessen Basis bis zum Beginne der Knospe; ausserdem finden sich solche in den Spaltöffnungsschliesszellen an der Spitze der ersten Blätter.

Feinkörniges Amylum erfüllt die Zellen der Wurzelhauben, sowie der unteren, in Streckung befindlichen, Partieen der Knospe.

3. Der Trieb einer anderen Knolle hatte eine Länge von ungefähr 10 Centimeter erreicht (Fig. 2); die untersten Blätter (sie unterscheiden sich von den späteren dadurch, dass sie nicht gefiedert, sondern einfach sind) waren abgewelkt, das darauffolgende Internodium war fertig gestreckt und hohl, das dritte Internodium noch in Streckung begriffen; dieses trug an seinem oberen Ende eine sich eben entfaltende Knospe.

Inulin ist unten in der Knolle noch fast unverändert (mit Ausnahme der Wurzelansätze); seine Menge nimmt ab bis zu der Stammbasis, wo es ganz verschwindet.

Zucker beginnt viel tiefer als in dem vorigen Stadium; sein Maximum ist an der Stammbasis; in geringer Menge findet er sich im ganzen Stamm bis in das dritte Internodium, sowie in den Blattstielen; bedeutendere Ansammlungen desselben finden sich an der Insertion der Blattstiele und am Ursprung der zwei Seitenblättchen und des Endblättchens. In den Blättern und den Knospen fehlt er gänzlich.

Stärkekörner im Stärkering des ganzen Stengels, der Blattstiele und der Blätter; ausserdem in den Chlorophyllkörnern der äussern Zellschichten der gestreckten Internodien, sowie der ganzen Blattspreite, ferner in allen Spaltöffnungsschliesszellen.

Feinkörniges Amylum findet sich in den Wurzelhauben, und den unteren Partieen sowohl der Terminalknospe, als der Knospen in den Blattachseln.

4. Ein etwa 25 Centimeter hoher Trieb aus einer starken Knolle:

Inulin war in der ganzen Knolle mit Zucker gemengt. Im Uebrigen war die Vertheilung der Stoffe dieselbe, wie am vorigen Exemplar.

5. Mehrere etwa 60—70 Centimeter hohe Triebe aus mehreren zusammenhängenden Knollen:

Inulin war nur noch in der Rinde der Knollen vorhanden und reichlich mit Zucker gemengt; die inneren Partieen der Knollen waren in Zerstörung begriffen; sonst hatte sich nichts verändert.

Das Amylum in den Siebröhren war in all diesen Stadien ganz in gleicher Menge und Vertheilung vorhanden, es fand sich vom untersten Ende der Knolle bis in die Knospe und die Blätter, soweit Siebröhren existiren. Ebenso stimmen alle diese Stadien darin überein, dass Stärkekörner (von messbarer Grösse und mit Jod reinblau werdend) in den Wurzeln und Wurzelknollen vollständig fehlen.

Es scheint also die Stoffmetamorphose in folgender Weise vor sich zu gehen: Das Inulin verwandelt sich an den Stellen der Wurzelknollen, wo Neubildungen hervortreten, in Zucker, und in dem Verhältnisse, als diese sich weiter entwickeln, greift diese Saccharification immer weiter nach rückwärts um sich, bis zuletzt mit dem Absterben der alten Knolle auch alles Inulin verschwunden ist. Der so entstandene Zucker wird zur weiteren Entwicklung der jungen Organe verbraucht, wandert aber nicht als solcher zu den Bildungsstätten derselben, sondern (wenigstens im Stamme) wahrscheinlich in Form von Amylum; es entsteht wenigstens die Stärke des Stärkerings offenbar aus dem an der Stammbasis angehäuften Zucker und nicht durch Assimilation der neuen Organe, da sie ja lange zuvor auftritt, ehe noch von einer Assimilation die Rede sein kann. In den Knospen geht diese Stärke vielleicht in den feinkörnigen Zustand über und mög-

licherweise wachsen die jungen Membranen auf Kosten dieses feinkörnigen Amylums. In den vorgerückteren Stadien finden wir ausserdem bereits einen absteigenden Strom. Die Blätter assimiliren und bilden in ihren Chlorophyllkörnern Stärke. Der aus derselben entstandene Zucker sammelt sich im Blattstiel und wird nach abwärts geführt; einer weiteren Verfolgung entziehen sich die Assimilationsprodukte; ein Theil davon wird vielleicht in den Blattachselknospen verbraucht; später, wenn die Zufuhr aus der Wurzel aufhört, müssen sie jedenfalls sowohl nach oben zu der Terminalknospe, als nach unten zur Erzeugung neuer Reservestoffe geführt werden.

Bei dieser Gelegenheit muss ich einige Angaben Sachs' (1863) über die Siebröhren bei Dahlia berichtigen; diese eigenthümlichen Zellen (welche sich von den bekannten Siebröhren der Cucurbita nur durch viel geringere Grösse unterscheiden) liegen in regelmässigen Längsreihen und die Querwände der neben einander liegenden Reihen sollen nach Sachs in gleicher Höhe liegen. Ich konnte nun ein solches Verhalten nicht beobachten; die Querwände liegen bezüglich der Höhe ganz unregelmässig, meistens abwechselnd; hie und da trifft es sich dann wohl auch, dass sie in zwei oder mehreren nebeneinander liegenden Reihen auf gleiche Höhe zu liegen kommen, doch beobachtete ich diesen Fall nur höchst selten, obwohl ich bei Untersuchung mehrerer Exemplare und aller Organe besonders darauf geachtet hatte. Ein zweiter Punkt betrifft die Jodreaction; Sachs hält es nemlich für wahrscheinlich, dass das Amylum hier als Lösung oder als Kleister vorhanden sei; ich beobachtete nun allerdings, dass auf einer oder auf beiden Seiten der Querwand durch Jodlösung eine bei 240facher Vergrösserung ziemlich homogen erscheinende bräunlich-violett gefärbte Masse sichtbar war; allein bei 480facher Vergrösserung bemerkte ich deutlich violette Körnchen in einer braunen Grundsubstanz; und an anderen, hinlänglich feinen Schnitten sah ich dann

auch ohne Zusatz von Jod farblose Körnchen von derselben Grösse, wie jene violetten, in einer ganz feinkörnigen Masse liegen. Ob nun freilich diese Körnchen wirklich Amylum sind, ist durch die violette (nicht rein blaue) Färbung derselben mittels Jod nicht vollkommen sicher gestellt.

§. 23. Wie nothwendig die oben (§. 16) erwähnte nähere Prüfung der durch Alkohol erzeugten Sphärokrystalle ist, ergibt sich aus folgenden Beobachtungen. Ein Dahlienstamm wurde ungefähr 20 Centimeter über der Erde abgeschnitten und das obere Stück, welches auch etwa 20 Centimeter lang war, nach Hinwegnahme der Blätter in kürzere Stücke geschnitten und in 90procentigen Alkohol gelegt, wo es in einem gutverschlossenen Glase stehen blieb. Nach zwei Monaten war die innere Wand des hohlen Stengels mit einem weissen Anflug ausgekleidet, der besonders stark unmittelbar ober und unter den Knoten war. Bei mikroskopischer Untersuchung zeigte sich, dass derselbe aus Sphärokrystallen bestand, wie sie sich auch einzeln im Parenchym der noch ungestreckten Internodien fanden. Sie bestanden deutlich aus einzelnen lose aneinander liegenden Krystallnadeln; eine concentrische Schichtung war nicht zu sehen; beim Erwärmen mit Wasser lösten sie sich auf und setzten sich beim Erkalten in denselben Formen wieder ab; in verdünnter Essigsäure lösen sie sich erst beim Erwärmen; kocht man sie einige Zeit damit und entfernt dann die Säure durch Verdampfen, so ist mit der Fehling'schen Kupferlösung auch nicht die geringste Spur einer Zuckerreaction zu erhalten; in kalter verdünnter Schwefelsäure lösen sie sich leicht, nach dem Kochen mit dieser und Neutralisation mit Kali war ebensowenig eine Zuckerreaction zu erreichen. In concentrirter Schwefelsäure lösen sie sich augenblicklich mit gelblicher Farbe auf. Beim Erhitzen auf dem Objectträger verschwanden sie allmählig fast ganz, ohne zu schmelzen oder einen charakteristischen Geruch zu entwickeln; der Rückstand war eine schwarz-

bräunliche Masse. Aus diesen Reactionen geht unzweifelhaft hervor, dass diese Krystalle keinenfalls aus Inulin bestanden, sowie dass ihre Substanz organischer Natur ist. Weitere Versuche konnte ich wegen der geringen Menge nicht anstellen, und ein zweites Mal erhielt ich sie nicht wieder, obwohl ich verschiedene Dahlienstengel auf möglichst gleiche Weise behandelte. Es wäre vielleicht nicht unmöglich, dass sie aus Tyrosin bestanden, das sich ähnlich, wie in Weingeistpräparaten von Thieren, aus den Eiweissstoffen gebildet haben könnte.

§. 24. Bei Tussilago Farfara findet sich schon im Herbste Zucker neben dem Inulin im Rhizome und zwar herrscht letzteres im Mark, ersterer in der Rinde vor; sein Maximum erreicht der Zucker am oberen Ende des Rhizoms, in der Knospe findet er sich nur spurweise. Im Frühjahre nimmt der Zuckergehalt bedeutend zu und der Inulingehalt ab. Aus dem Rhizome entwickeln sich zwei Sprosse, ein Blüthenspross und später ein vegetativer, und zwar beide auf Kosten des Inulins. Im Blüthenspross nimmt der Zucker nicht so plötzlich nach oben zu ab, wie wir es bei Dahlia gesehen haben, sondern seine Menge verringert sich sehr allmählich nach oben zu; im Blüthenkopfe findet er sich nur noch spurenweise, in den jungen Früchten nur in der äussersten Zellschichte. Der Stärkering enthält im ganzen Spross vom Beginn der Höhlung bis unter den verbreiterten Blüthenboden reichlich Amylum, doch scheint dessen Menge auf mittlerer Höhe bedeutender zu sein, als oben und unten. Bei der gewöhnlichen Form der Pflanze mit braunen schuppenförmigen Blättern am Blüthenspross scheint in dieser Periode keine Assimilation stattzufinden; jene Blättchen enthalten nur in den Schliesszellen der Spaltöffnungen Amylum, wo es sich bekanntlich auch bei anderen Pflanzen findet, ohne dass neue Substanz assimilirt wird (z. B. in abgewelkten und in eben erst ergrünenden Blättern von Dahlia). Es kommt aber hie

und da auch eine Form dieser Pflanze vor, an welcher sich der vegetative Spross zugleich mit dem reproductiven entwickelt, und wo auch die Blätter dieses letzteren nicht braun, sondern grün sind und in ihren Chlorophyllkörnern Amylum enthalten. Feinkörniges Amylum konnte ich an dieser Pflanze nirgends bemerken. Siebröhren kommen auch hier vor, allein sie sind so klein, dass ihre Nachweisung ziemlich schwierig ist.

§. 25. In den Knollen von Helianthus tuberosus fanden einige französische Chemiker verschiedene Stoffe, welche vielleicht einmal Anhaltspuncte geben für die genauere Kenntniss der Umwandlungen des Inulins.

Ville und Joulie (1866) fanden in diesen Knollen (zu welcher Jahreszeit, geben sie nicht an, ich vermuthe im Herbste) nur sehr wenig Zucker, hingegen viel Inulin und einen neuen Körper, welchen sie Levulin nennen; derselbe sei wahrscheinlich ein Kohlehydrat und zeige folgende Eigenschaften: er ist löslich in kaltem Wasser, unlöslich in Alkohol, schmeckt süsslich, aber nicht süss, ist amorph und im Aeusseren dem Dextrin sehr ähnlich; allein er reducirt die alkalische Kupferlösung nicht; wenn er hingegen einige Augenblicke mit Salzsäure gekocht wird, so wird er in Fruchtzucker vom Rotationsvermögen — 106 verwandelt; er selbst ist optisch neutral; die Gährungsfähigkeit wurde nicht untersucht.

Dubrunfaut (1867) fand in den im April gesammelten Knollen von Helianthus erstens einen Stoff von gummiartiger Natur, unlöslich in Alkohol, aber leicht löslich in Wasser, welcher optisch neutral ist und bei der alkoholischen Gährung diese Neutralität nicht verliert; zweitens erhielt er einen anderen Zucker, den er als Rohrzucker erkannte; in den im September gesammelten Knollen fehlt nach seinen Untersuchungen der Rohrzucker; über den anderen Stoff sagt er in dieser Beziehung gar nichts.

Vielleicht ist jenes Levulin ein Uebergang vom Inulin zu rechtsdrehender Glycose, die sich dann in Stärkemehl verwandelt; allein es lassen sich hier höchstens Vermuthungen aussprechen, da einerseits die makrochemische und optische Untersuchung uns über die Vertheilung in der Pflanze nichts sagt, andrerseits die mikrochemischen Methoden noch zu wenig ausgebildet sind.

§. 26. Ueber die Neubildung des Inulins hatte Sachs (1863) Versuche an Dahlia angestellt. Er fand in jungen Knollenansätzen eine continuirliche Schicht von Rindenzellen mit Stärkekörnern erfüllt, Zucker war in den Zellen des Gefässbündelkreises vorhanden. In reifen Knollen trat keine Zuckerreaction mehr ein; hingegen erhielt Sachs in den Rindenzellen mit Jodtinctur einen Niederschlag, der wohl wahrscheinlich aus Inulin bestand. Im Stamme zeigte sich in den Markstrahlen der untersten Internodien viel Zucker, die obersten Internodien verhielten sich geradeso, wie die an jungen Trieben, vorausgesetzt, dass die von Sachs erwähnten „feinen Stärkekörnchen" nicht unmittelbar durch Jod blau gefärbt wurden, sondern erst nach Behandlung mit Kali.

Das mir zu Gebote stehende Material war zu dürftig, um genaue Untersuchungen anstellen zu können. Die kleinsten Knollen, welche ich bekommen konnte, enthielten weder Amylum noch Zucker, sondern sehr viel Inulin, an der Ansatzstelle fand sich reichlich Zucker, ebenso in den untersten Stamminternodien; es scheint, dass sich die jungen Dahlienknollen trotz ihrer verschiedenen morphologischen Natur ebenso verhalten, wie die eingehender untersuchten Knollen von Helianthus tuberosus.

§. 27. Die ersten Anfänge dieser Knollen zeigen sich als kleine Auswüchse der unterirdischen Achse (Fig. 3 A.) In diesem Stadium enthält die Rinde sehr viel Zucker, die innerste Schicht derselben enthält Stärkekörner. Die Weiter-

entwicklung scheint dann so vor sich zu gehen, dass dieser Auswuchs sich streckt und nach kürzerer oder längerer Zeit an seinem Ende kopfförmig anschwillt; tritt diese Anschwellung sehr frühe ein, so scheint die Knolle an der Hauptachse zu sitzen (Fig. 4); es kann aber auch der junge Spross eine beträchtliche Länge erreichen, ohne anzuschwellen (Fig. 6.) Mit dieser Anschwellung hält die Ablagerung des Inulins gleichen Schritt.

Aus dem mit Zucker angefüllten Parenchym der Hauptachse wird derselbe in die junge Knolle geführt, doch nur bis zum Beginne des angeschwollenen Theiles; in diesem selbst findet sich nie Zucker (wesshalb die sitzend erscheinenden Knollen wie Fig. 4. desselben gänzlich entbehren). Mit dem Eintritt in die Anschwellung wird der Zucker in Inulin übergeführt, welches sich zuerst an der Basis derselben in bedeutender Menge ablagert. Offenbar wird nun dieses Inulin in dem Masse als sich neues aus dem herzuströmenden Zucker bildet, gegen die Spitze der Knolle zu weitergedrängt, bis in einem bestimmten Stadium der ganze angeschwollene Theil mit Inulin erfüllt ist; dann verwandelt sich auch der im stielförmigen Verbindungsstrang noch befindliche Zucker von der Knolle gegen den Stamm zu in Inulin (Fig. 5.), bis dieses zuletzt das ganze neugebildete Organ einnimmt. Auch das in den vorausgehenden Stadien noch sichtbar gewesene Amylum in der Gefässbündelscheide ist nun vollständig verschwunden. Nur das unmittelbar unter der Scheitelregion befindliche feinkörnige Amylum ist noch immer nachweisbar. In diesem mit Rücksicht auf die chemischen Verhältnisse fertig zu nennenden Stadium hat aber die Knolle erst etwa den dritten Theil (im Durchmesser) ihrer Grösse im reifen Zustande erreicht; da die Zellen noch ziemlich klein sind, so scheint der grösste Theil des späteren Wachsthums durch blosse Streckung der vorhandenen Theile zu erfolgen. Da aber sowohl jetzt, wie später, die Zellen

strotzend mit Inulin gefüllt sind, so muss angenommen werden, dass solches immer noch aus dem (zucker- und inulinhaltigen) Parenchym des unterirdischen Stammes nachgeführt wird.

§. 28. Auch über die Keimung der Samen hatte ich ähnliche Untersuchungen angestellt, und zwar an Calendula officinalis. Im ganzen Entwicklungsgange dieser Pflanze konnte ich jedoch nie Inulin finden, so dass der oben (§. 18 u. 20) angegebene Fall als Ausnahme zu betrachten ist. Eine Mittheilung der sonstigen Resultate ist um so mehr überflüssig, als sie vollständig mit den von Sachs (Bot. Zeit. 1859. p. 177—183, 185—188) an Helianthus annuus gewonnenen übereinstimmen.

§. 29. In ähnlicher Weise, wie von den jungen Trieben, wird das Inulin von den Schmarotzerpflanzen aufgezehrt. Die Wurzel von Petasites niveus ist an den Stellen, wo die darauf schmarotzende Orobanche flava Martius mit ihr verwachsen ist, knollig aufgetrieben; die Sprosse der Orobanche sitzen seitlich daran und biegen sich dann aufwärts. Auf einem horizontalen Schnitt durch diese Anschwellung (Fig. 7.) sieht man die Zellen des Orobanche-Sprosses mit Stärkekörnern erfüllt; dieselben nehmen noch einen Theil der Anschwellung ein; daran schliesst sich dann das dem Petasites angehörige Gewebe, in den an die Orobanche-Zellen zunächst angrenzenden Partieen mit Zucker, in den entfernteren mit Inulin angefüllt. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass durch die Einwirkung der Orobanche das Inulin in Zucker und dieser in Amylum umgewandelt wird.

§. 30. Durch vorstehende Untersuchungen ist die früher (z. B. von Waltl, Mohl, Schacht) ausgesprochene Ansicht, das Inulin vertrete in gewissen Pflanzen das Amylum, unmöglich gemacht. Das Inulin übernimmt bei den oben angegebenen Pflanzen nur theilweise die Rolle des Amylum,

wie sich am deutlichsten ergibt, wenn wir diese letztere betrachten.

Unter dem Einflusse des Lichts erzeugen die grünen Pflanzentheile aus der Kohlensäure der Luft in ihren Chlorophyllkörnern Amylum, welches nun theils als solches, theils in der Form von Dextrin (?) oder Zucker an andere Stellen der Pflanze geführt wird. Dort wird die zellstoffbildende Substanz (Amylum oder Zucker) entweder sofort zur Bildung neuer Cellulose in den jungen Organen verbraucht, oder aber sie wird in Reservestoffbehältern abgelagert, um nach längerer Ruhe zur Cellulosebildung verwendet zu werden. In den meisten Fällen stellt das Amylum selbst diese Ruheform der zellstoffbildenden Substanz dar; es kann aber auch ein anderer Stoff, der zum Amylum in näherer (z. B. Rohrzucker) oder entfernterer (z. B. Oel) chemischer Beziehung steht, diese Rolle übernehmen. Wenn nun diese Reservenahrung in Verwendung kommt, so wird sie wieder in Zucker und Amylum verwandelt, welches bald in mehreren Zellcomplexen, immer aber im sog. Stärkering auftritt.

In den inulinführenden Pflanzen sehen wir nun das Amylum alle seine Functionen verrichten, wie bei den übrigen grünen Pflanzen; nur in den Reservestoffbehältern sehen wir es durch andere Stoffe ersetzt, in den Samen durch Oel, in den unterirdischen (Wurzeln oder Stengeln) durch Inulin.

Warum aber das Inulin nur in den unterirdischen Organen abgelagert wird, warum es überhaupt nur bei einigen wenigen Pflanzenfamilien gebildet wird, das sind Fragen, deren Beantwortung wir der Zukunft überlassen müssen.

Literatur.

(Lehr- und Handbücher der Chemie, Botanik, Pharmakognosie etc. habe ich nur berücksichtigt, wenn sie Originalangaben enthalten. — Die mit † bezeichneten Schriften standen mir nicht zu Gebote.)

1804. V. Rose, Ueber eine eigenthümliche vegetabilische Substanz. Gehlen's neues Journal d. Chem. III. 1804. p. 217—219. — Berlin. Jahrb. d. Pharm. a. d. Jahr 1804. p. 283—288.

1806. Trommsdorff, Allgemeines pharmaceutisch-chemisches Wörterbuch. Erfurt 1806. Bd. I. p. 132.

1808. Trommsdorff, Chemische Untersuchung einer besonderen Substanz, die sich aus dem Extract des Bitterklees abgeschieden hatte. Trommsd. Journ. d. Pharm. XVI. 2. 1808. p. 85—96.

1809. Rinck, Ueber einen besonderen Stoff in den Galläpfeln und über den Essigäther. Berlin. Jahrb. f. d. Pharm. a. d. J. 1808. XIV. (N. F. VI.) 1809. p. 189—191.

Funke, Chemische Zerlegung der Brustalantwurzel (Inula Helenium) mit besonderer Rücksicht auf einige neu entdeckte Pflanzenstoffe. Trommsd. Journ. d. Pharm. XVIII. 1. 1809. p. 74—94. — Annales de Chimie ou recueil etc. LXXVI. 1810. p. 98.

Trommsdorff, Chemische Analyse des Bitterklees, Menyanthes trifoliata L. Trommsd. Journ. d. Pharm. XVIII. 2. 1809. p. 72—102.

Trommsdorff, Chemische Untersuchung der Kalmuswurzel. Acorus Calamus L. ebenda p. 119—141.

1811. Thomson, System der Chemie, übersetzt von Wolff. Berlin 1811. Bd. V. p. 744—746.

Boudet, Versuch einer Zerlegung des Wasserhanfs, Eupatorium canabinum L. † Bull. d. Pharm. Paris 1811. Nr. III. p. 97 ff. Trommsd. Journ. f. d. Pharm. XXII. 1. 1813. p. 89—101.

† Henry, Elémens de chimie. 6. éd. trad. II. 225. (nach einem Citat bei Gaultier de Claubry, Ann. de Chim. 1815).

1813. John, Chemische Untersuchung der Alantwurzel (Inula Helenium L.). in John, Chemische Untersuchungen miner., veget., und animalischer Subst. III. Forts. des Chem. Labor. (auch: Chemische Schriften IV. Bd.) Berlin 1813. p. 61—76.

John, Chemische Untersuchung der Engelwurzel (Radix Angelicae, Angelica Archangelica L.) ebenda p. 121—126.

John, Chemische Untersuchung der Bertramwurzel (Radix Pyrethri L.) ebenda p. 126—133.

1814. John, Chemische Tabellen der Pflanzenanalysen. Nürnbg. 1814. p. VII f. 2. 6. 17. 41. 80 f.

1815. Gaultier de Claubry, Note sur une substance, à laquelle on a donné le nom d'Inuline. Annales de Chimie ou recueil etc. T. 94. 1815. p. 200—208.

Vogel, Chemische Untersuchung der florentinischen Veilchenwurzel (Iris florentina). Trommsd. Journ. d. Pharm. XXIV. 2. 1815. p. 64—74.

Linck, Ueber den Altheeschleim. Schweigger's Journ. f. Chem. u. Phys. 13. 1815. p. 186—192.

1816. Braconnot, Observation sur les avantages du Datisca cannabina dans l'art de la teinture. Journ. de Phys. par Delamétherie. T. 83. 1816. p. 187—191. — Ann. Chim. Phys. III. 1816. p. 277—280. — Trommsd. neues Journ. d. Pharm. II. 1. 1818. p. 129—133.

1817. Funke, Rep. 1817. Erg. T. 149. (so citirt bei Stratingh, Rep. f. d. Pharm. 1825).

1818. Gautier, Recherches chimiques sur le principe actif de la pyrèthre et sur la nature des principes coustituans de cette racine. Journ. de Pharm. IV. 1818. p. 49—55. — Ann. Chim. Phys. VIII. 1818. p. 101 f. — Trommsd. n. Journ. d. Pharm. III. 1. 1819. p. 375—377.

† Geiger, Dissertatio pharmaceutico-chemica de Calendula officinali L. Heidelbg. 1818. Im Auszuge bei:

1819. Kastner, Beiträge zur Kenntniss der Ringelblume (Calendula officinalis L.). Berlin. Jahrb. f. d. Pharm. 20. Jahrg. 1819. p. 212—231.

1820. Pelletier et Caventou, Examen chimique de plusieurs végétaux de la famille des colchicées, et du principe actif qu'ils renferment. Cèvadille (veratrum sabadilla); hellébore blanc (veratrum album); colchique commun (colchicum autumnale). Ann. Chim. Phys. XIV. 1820. p. 69—83. — Gilberts Ann. d. Phys. 65. 1820. p. 355—372. — Schweigger's Journ. f. Chem. u. Phys. 31. 1821. p. 172—193. — Trommsd. n. Journ. d. Pharm. V. 2. 1821. p. 92—111.

1821. Pfaff, System der Materia medica. V. Bd. Lpzg. 1821. p. 78—83.

Pechier, Analytische Untersuchung der Polygala-Senega-Wurzel. Buchner's Rep. f. d. Pharm. 11. 1821. p. 158—177.

1823. Payen, Extrait d'un Mémoire lu á l'Institut sur une nouvelle substance trouvée dans les tubercules des dahlias. Journ. d. Pharm. IX. 1823. p. 383—392. — Mém. de l'Acad. Année 1823. T. VI. 1827. p. LXXXIX. — Schweigg. Journ. f. Chem. u. Phys. 39. 1823. p. 338—346.

1824. Braconnot, Analyse des Tubercules de l'Helianthus tuberosus et Observations sur la Dahline. Ann. Chim. Phys. XXV. 1824. p. 358—373. — Journal de Pharm. X. 1824. p. 488. — Buchner's Rep. f. d. Pharm. 18. 1824. p. 33—53.

Payen, Observations sur l'analyse des tubercules de l'helianthus tuberosus. Ann. Chim. Phys. XXVI. 1824. p. 98—106. — Journ. de Pharm. X. 1824. p. 256 u. 408. — Mém. de l'Acad. T. VII. Année 1824. Paris 1827. p. CXXII. — Buchner's Rep. f. d. Pharm. 18. 1824. p. 53—68.

Stratingh, Eenige scheikundige Waarnemingen. † Alg. Konst-en Letterbode. Nr. 25—27. 1824. — Buchner's Rep. f. d. Pharm. 21. 1825. p. 418—420.

1825. Biltz, Chemische Untersuchung der Hirschbrunst. Trommsd. n. Journ. d. Pharm. XI. 2. 1825. p. 3—89.

1826. Meier Leo, Chemische Untersuchung der Eibischwurzel. Berl. Jahrb. f. d Pharm. 27. Jahrg. 2. Abth. 1826. p. 75—98.

Nees von Esenbeck, Chemische Untersuchung der beiden Lacmusflechten Roccella tinctoria Ach. und Lecanora tartarea Ach. Brandes' Archiv des Apoth. Ver. XVI. 1826. p. 135—151.

1828. Cenedilla, Analyse de la racine de cynoglosse. † Journal de Pharm. de Milan. — Journ. de Pharm. XIV. 1828. p. 622.

Waltl, Ueber Inulin überhaupt und vorzüglich über dessen Auffindung in zwei officinellen Wurzeln. Buchner's Rep. f. d. Pharm. 27. 1828. p. 263—266.

1829. Waltl, Das Amylon und Inulin. Chemische Abhandlung mit steter Hinsicht auf Pflanzenphysiologie, Technik und Medicin. Nürnbg. 1829. p. 51—60.

1832. Liebig, Darstellung des Inulins. Lieb. Ann. 2. 1832. p. 235—237.

Widnmann, Bemerkungen über den Löwenzahnextract (Extractum Taraxaci). † Intelligenzblatt des pharm. Vereins in Bayern. V. Bd. 1. Hft. — Buchner's Rep. f. d. Pharm. 43. 1832. p. 281—284.

1833. Parisel, Essais chimiques sur là racine de pyrêthre. Journ. de Pharm. XIX. 1833. p. 251 f. — Lieb. Ann. 9. 1834. p. 327.

1834. Clamor Marquart, Ueber Inulin, Lieb. Ann. 10. 1834.

p. 92—103. — Marquart, Bericht üb. d. Fortschr. d. Phytochemie, Wiegm. Arch. f. Naturgesch. II. 1836. p. 135.

1835. Koene, Analyse chimique de la racine de Pyrèthre. Ann. Chim. Phys. 59. 1835. p. 327—331. — Lieb. Ann. 16. 1835. p. 66—70. — Marqu. Ber. etc. Wiegm. Arch. II. 1836. p. 135 f.

1838. Raspail, Nouveau Système de Chimie organique. II. èd. Tome II. Paris 1838. p. 1—5; Atlas Tf. VI. Fg. 27. (von der ersten Auflage stand mir die Uebersetzung von Wolff zu Gebote. Stuttg. 1834. p. 151 f. p. 183—188. Tf. II. Fg. 27.)

Meyen, Neues System der Pflanzen-Physiologie. II. Bd. Berlin 1838. p. 281—285.

Mulder, Inulin und Isländisch Moosstärke. † Bullet. des sciences nat. en Néerlande. 1838. p. 40. — † Natuur- en scheikundig Archief. 1837. Nr. 4. — Lieb. Ann. 28. 1838. p. 278—280. — Erdm. Journ. f. pract. Chem. 15. 1838. p. 299—302.

1840. Payen, Complément d' un mémoire sur la composition chimique du tissu propre des végétaux phanérogames. Ann. sc. nat. II. Sér. T. XIV. Botanique. 1840. p. 85—87. 91 f.

Wittstein, Notiz zur Darstellung des Inulins. Buchner's Rep. f. d. Pharm. 71. 1840. p. 362—365.

Overbeck, Ueber den Gehalt an Inulin der Wurzeln von Leontodon Taraxacum zu verschiedenen Zeiten. Brandes' Archiv der Pharm. 73. (2. Reihe 23.) 1840. p. 240.

Parnell, On the composition of Inulin. Philos. Mag. 17. 1840. p. 126 ff. — Erdm. Journ. f. pr. Ch. 26. 1842. p. 140—145. — Lieb. Ann. 39. 1841. p. 213. ff.

1841. Frickhinger, Vergleichende chemische Untersuchung der im Herbste und der im Frühjahre gesammelten Wurzel vom Löwenzahn Leontodon Taraxacum L. Buchn. Rep. f. d. Pharm. 73. (2. Reihe 23.) 1841. p. 45—82.

1843. Croockewit, Over de Zamenstelling van Inuline. † Scheikundige Onderzoek. I. 283—295. — Lieb. Ann. 45. 1843. p. 184—192. — Erdm. Journ. f. pr. Ch. 28. 1843. p. 316.

1844. Mulder, Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie, übersetzt von Kolbe. I. Hälfte. Braunschweig 1844—1851. p. 226—231.

1849. Schleiden, Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik. 3. Aufl. I. Lpzg. 1849. p. 191.

1850. Berg, Handbuch der pharmaceutischen Botanik. 2. Aufl. I. Berlin 1850. p. 11. f.

1851. Mohl, Grundzüge der Anatomie und Physiologie der vegetabili-

schen Zelle. Wagner's Handwörterb. der Physiol. IV. 1853. p. 208; Sep. Abdr. Braunschweig 1851. p. 50.
Schacht, das Mikroskop und seine Anwendung. Berlin 1851. p. 56.
1852. Schacht, Die Pflanzenzelle. Berlin 1852. p. 41 f., 433.
Berg, Handbuch der pharmaceutischen Botanik. 2. Aufl. II. Pharmakognosie. Berlin 1852. pg. 38 f., 46—48, 50.
1854. Rochleder F., Phytochemie. Leipzg. 1854.
1855. Berg, Handbuch der pharmaceutischen Botanik. 3. Aufl. I. Bd. Botanik. Berlin 1855. p. 17.
1856. Dubrunfaut, Note sur l'inuline. Comptes rendus. 42. 1856. I. p. 803—806.
Stenhouse, Untersuchung einiger Pflanzenprodukte aus Indien. I. Datisca cannabina. Lieb. Ann. 98. 1856. p. 167—180.
1857. Berg, Handbuch der pharmaceutischen Botanik. 3. Aufl. II. Pharmakognosie. Berlin 1857. p. 21, 39 ff., 48—51.
Schleiden, Handbuch der medicinisch-pharmaceutischen Botanik und Pharmakognosie. II. Pharmakognosie. Lpzg. 1857. p. 97 f., 107.
† Holle, Ueber die Zellenbläschen der Lebermoose. Heidelbg. 1857. (citirt von Schacht, Anatomie II. p. 557.)
1858. Cramer, Ueber das Verhalten des Kupferoxydammoniaks zur Pflanzenzellmembran, zu Stärke, Inulin, zum Zellenkern und zum Primordialschlauch. Vierteljahrsschr. d. Nat. Ges. Zürich. III. 1858. (nicht 1857, wie häufig citirt wird.) p. 1—22.
Mohl, die Untersuchung des Pflanzengewebes mit Hülfe des polarisirten Lichts. Bot. Zeitg. 16. Jhrg. 1858. p. 1—7, 9—18.
Hartig, Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims. Lpzg. 1858. p. 117.
1859. Schacht, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Gewächse. II. Berlin 1859. p. 557 f.
1862. Nägeli, Beobachtungen über das Verhalten des polarisirten Lichts gegen pflanzliche Organisation. 2. Sphärokrystalle in Acetabularia. Sitzungsber. der bayr. Acad. München 1862. I. p. 314—321, 323 f.
1863. Sachs, Ueber die Stoffe, welche das Material zum Wachsthum der Zellhäute liefern. Pringsh. Jahrb. III. 1863. p. 183—258.
Wigand, Lehrbuch der Pharmakognosie. Berlin 1863. p. 51 f.
† Sachs, Ann. der Landwirthsch. in den k. preuss. Staaten 1863. (citirt von Sachs, Bot. Zeitg. 1864).
† Schacht, Köln. Zeitg. 1863. Nr. 360. (cit. ebenda.)

1864. Sachs, Ueber die Sphärokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen. Bot. Zeitg. 22. Jhrg. 1864. p. 77—81, 85—89.

1865. Berg, Anatomischer Atlas zur pharmaceutischen Waarenkunde. Berlin, 1865. Tff. VII. IX. X. XIII. XV. p. 11. 15 f., 17, 23, 27, 29

Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen. Lpzg. 1865.

1866. Ville et Joulie, Sur une nouvelle substance hydrocarbonée contenue dans les tubercules du topinambour. Moniteur scientif. X. Année. 1866. p. 836—839.

1867. Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop. Lpzg. 1867. p. 361 u. 514.

Dubrunfaut, Sur la présence du sucre cristallisable dans les tubercules de l'Helianthus tuberosus. Comptes rendus. T. 64. 1867. I. p. 764 ff. — Beilstein's Zeitschr. f. Chem. X. 1867. p. 306 f.

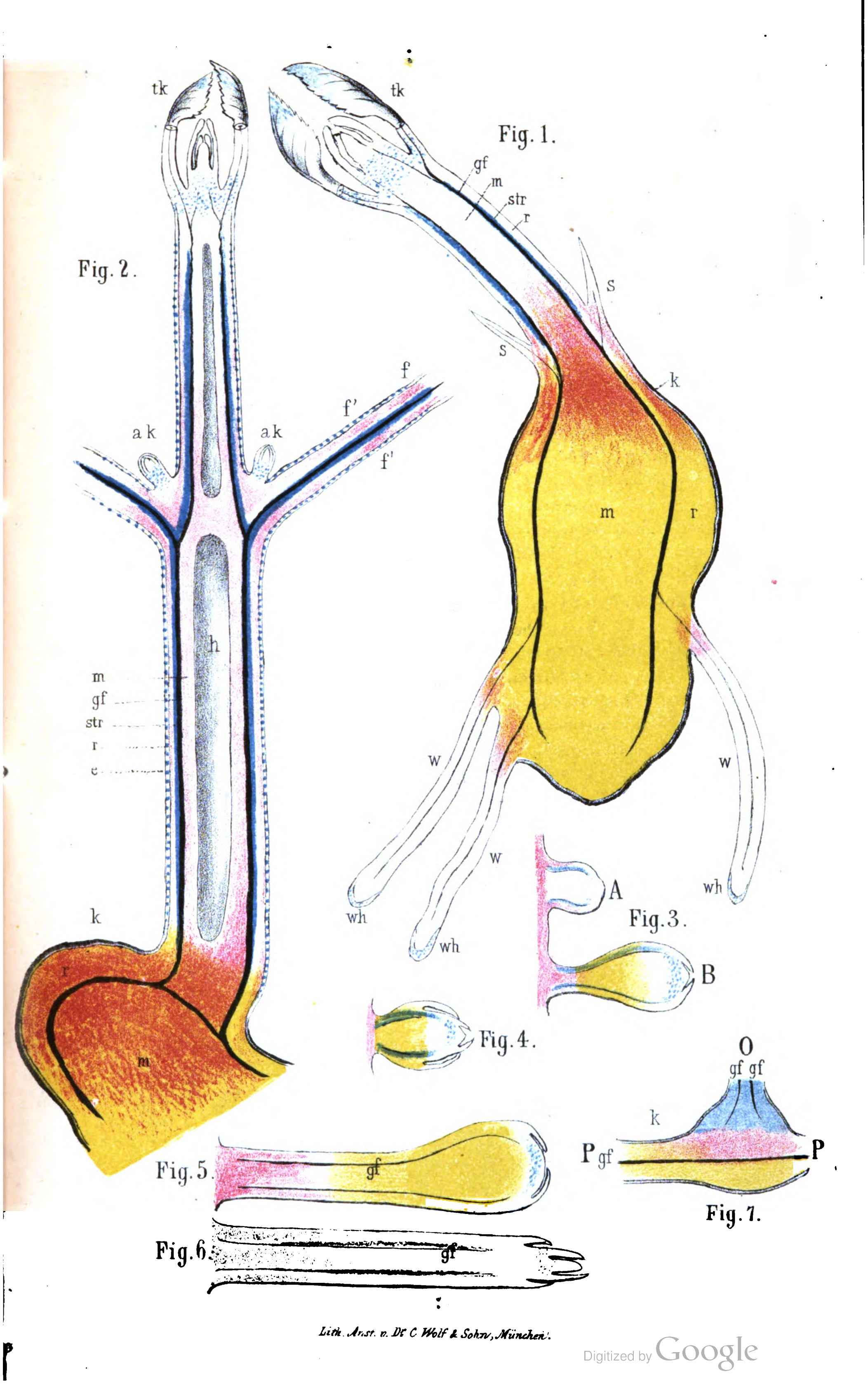
1868. Wittstein, Anleitung zur chemischen Analyse von Pflanzen und Pflanzentheilen auf ihre organischen Bestandtheile. Nördlingen 1868. p. 181 f.

Sachs, Lehrbuch der Botanik. Lpzg. 1868. p. 64 f.

Peckolt Th., Catalog der pharmacognostischen etc. Sammlung aus ber brasilianischen Flora. Wien 1868. p. 19.

1869. Famintzin, Ueber amylumartige Gebilde des kohlensauren Kalkes. Verhandl. d. naturhist. medic. Vereines Heidelberg. Bd. V. 1. 1869. p. 18—23.

Eichler, A. Gu. Balanophoreae Brasilienses. München 1869.



Lith. Anst. v. Dr. C. Wolf & Sohn, München.

Kgl. Hofbuchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn.

